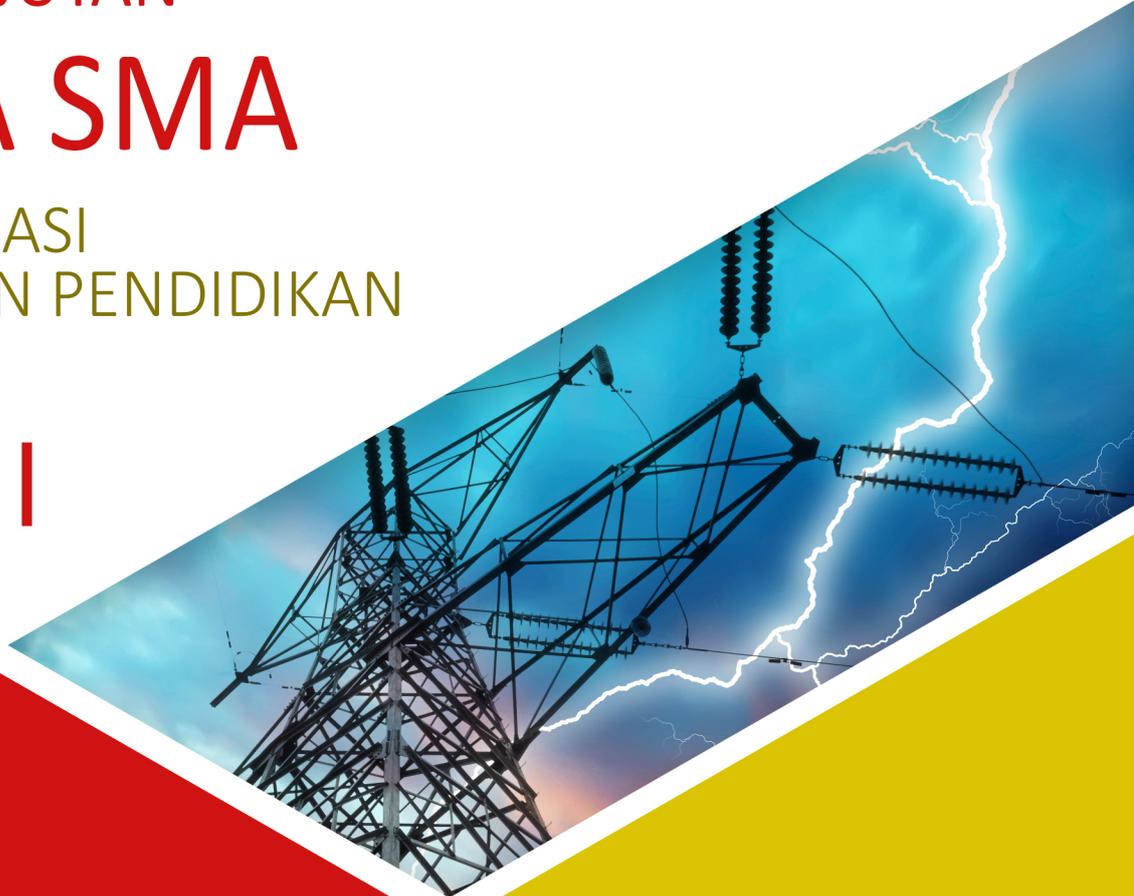


MODUL
PENGEMBANGAN KEPROFESIAN
BERKELANJUTAN

FISIKA SMA

TERINTEGRASI
PENGUATAN PENDIDIKAN
KARAKTER

Kelompok
Kompetensi



PEDAGOGIK

Pengembangan
Perencanaan Pembelajaran

■ Suharto, S.Pd., M.T.

PROFESIONAL

Fisika Modern

■ Suharto, S.Pd., M.T.



Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
2017

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN FISIKA SMA

TERINTEGRASI
PENGUATAN PENDIDIKAN KARAKTER

KELOMPOK KOMPETENSI I

PENGEMBANGAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN

■ Suharto, S.Pd., M.T.



Pusat Pengembangan Dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI I

PENGEMBANGAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN

Penulis:
Suharto, S.Pd., M.T.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI I

PENGEMBANGAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN

Penanggung Jawab
Dr. Sediono Abdullah

Penyusun
Suharto, S.Pd., M.T. 022-4231191 suhartojago@gmail.com

Penyunting
Drs. Iwan Heryawan, M.Si.

Penelaah
Dr. Ida Kaniawati, M.Si.
Dr. Andi Suhandi, M.Si.

Penata Letak
Zuhe Safitra

Copyright ©2017
Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan
Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
Dilarang menggandakan sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial
tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

KATA SAMBUTAN

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar siswa. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas dan berkarakter prima. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen yang menjadi fokus perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam peningkatan mutu pendidikan terutama menyangkut kompetensi guru.

Pengembangan profesionalitas guru melalui Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan merupakan upaya Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan dalam upaya peningkatan kompetensi guru. Sejalan dengan hal tersebut, pemetaan kompetensi guru telah dilakukan melalui Uji Kompetensi Guru (UKG) untuk kompetensi pedagogik dan profesional pada akhir tahun 2015. Hasil UKG menunjukkan peta profil yang menunjukkan kekuatan dan kelemahan kompetensi guru dalam penguasaan pengetahuan pedagogik dan profesional. Peta kompetensi guru tersebut dikelompokkan menjadi 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Tindak lanjut pelaksanaan UKG diwujudkan dalam bentuk pelatihan guru paska UKG pada tahun 2016 dan akan dilanjutkan pada tahun 2017 ini dengan Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan bagi Guru. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kompetensi guru sebagai agen perubahan dan sumber belajar utama bagi peserta didik. Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan bagi Guru dilaksanakan melalui tiga moda, yaitu: 1) Moda Tatap Muka, 2) Moda Daring Murni (*online*), dan 3) Moda Daring Kombinasi (kombinasi antara tatap muka dengan daring).



Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kelautan Perikanan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LP3TK KPTK) dan Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Kepala Sekolah (LP2KS) merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal.

Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan perangkat dan melaksanakan peningkatan kompetensi guru sesuai bidangnya. Adapun perangkat pembelajaran yang dikembangkan tersebut adalah modul Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan bagi Guru moda tatap muka dan moda daring untuk semua mata pelajaran dan kelompok kompetensi. Dengan modul ini diharapkan program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan memberikan sumbangan yang sangat besar dalam peningkatan kualitas kompetensi guru. Mari kita sukseskan Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan ini untuk mewujudkan Guru Mulia Karena Karya.

Jakarta, Maret 2017

Direktur Jenderal

Guru dan Tenaga Kependidikan

Sumarna Surapranata, Ph.D

NIP. 195908011985032001

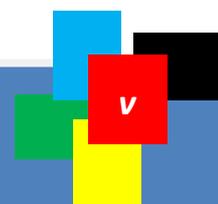
KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke Hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) mata pelajaran Fisika SMA, Kimia SMA dan Biologi SMA. Modul ini merupakan model bahan belajar (*Learning Material*) yang dapat digunakan guru untuk belajar mandiri, fleksibel dan pro-aktif, sesuai kondisi dan kebutuhan penguatan kompetensi yang ditetapkan dalam Standar Kompetensi Guru.

Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan yang merupakan salah satu program PPPPTK IPA ini disusun dalam rangka fasilitasi program peningkatan kompetensi guru pasca UKG yang telah diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Materi modul dikembangkan berdasarkan Standar Kompetensi Guru sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional nomor 16 Tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru yang dijabarkan menjadi Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.

Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan ini dibuat untuk masing-masing mata pelajaran yang dijabarkan ke dalam 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Materi pada masing-masing modul kelompok kompetensi berisi materi kompetensi pedagogik dan kompetensi profesional guru mata pelajaran, uraian materi, tugas, dan kegiatan pembelajaran, serta diakhiri dengan evaluasi dan uji diri untuk mengetahui ketuntasan belajar. Bahan pengayaan dan pendalaman materi dimasukkan pada beberapa modul untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kegunaan dan aplikasinya dalam pembelajaran maupun kehidupan sehari-hari.

Penyempurnaan modul ini telah dilakukan secara terpadu dengan mengintegrasikan penguatan pendidikan karakter dan kebutuhan penilaian





peserta didik di sekolah dan ujian yang berstandar nasional. Hasil dari integrasi tersebut telah dijabarkan dalam bagian-bagian modul yang terpadu, sesuai materi yang relevan.

Modul ini telah ditelaah dan direvisi oleh tim, baik internal maupun eksternal (praktisi, pakar dan para pengguna). Namun demikian, kami masih berharap kepada para penelaah dan pengguna untuk selalu memberikan masukan dan penyempurnaan sesuai kebutuhan dan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi terkini.

Besar harapan kami kiranya kritik, saran, dan masukan untuk lebih menyempurnakan isi materi serta sistematika modul dapat disampaikan ke PPPPTK IPA untuk perbaikan edisi yang akan datang. Masukan-masukan dapat dikirimkan melalui email para penyusun modul atau email p4tkipa@yahoo.com.

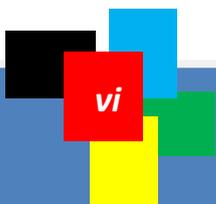
Akhirnya kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pengarah dari jajaran Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan, Manajemen, Widyaiswara dan Staf PPPPTK IPA, Dosen dan Guru yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian modul ini. Semoga peran serta dan kontribusi Bapak dan Ibu semuanya dapat memberikan nilai tambah dan manfaat dalam peningkatan Kompetensi Guru IPA di Indonesia.

Bandung, April 2017

Kepala PPPPTK IPA,

Dr. Sediono, M.Si.

NIP. 195909021983031002





DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	3
D. Ruang Lingkup	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN: PENGEMBANGAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN	8
A. Tujuan	9
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	9
C. Uraian Materi	9
D. Aktivitas Pembelajaran	50
E. Latihan/Kasus/Tugas	53
F. Rangkuman	55
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	56
KUNCI JAWABAN	57
EVALUASI	59
PENUTUP	63
DAFTAR PUSTAKA	65
GLOSARIUM	66



DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 1	Kompetensi Guru Mapel dan Indikator Pencapaian Kompetensi	3
Tabel 2	Daftar Lembar Kerja Modul	7
Tabel 1.1	Standar Kompetensi Lulusan	13
Tabel 1.2	Tingkat Kompetensi dan Lingkup Materi	14



DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 1	Alur Strategi Pelaksanaan Pembelajaran Tatap Muka	4
Gambar 2	Alur Pembelajaran Tatap Muka Penuh	5
Gambar 3	Alur Pembelajaran Tatap Muka Kombinasi (in-on-in)	6
Gambar 1.1	Pola Pikir Pengembangan RPP	27

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Berdasarkan Permendikbud tentang Standar Proses, disebutkan bahwa proses pembelajaran pada satuan pendidikan diselenggarakan secara interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, memotivasi peserta didik untuk berpartisipasi aktif, serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas, dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat, dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik. Pembelajaran seperti yang diharapkan dalam Permendikbud tentang Standar Proses tersebut dalam pengembangannya diperlukan kompetensi guru yang memadai dalam merencanakan/merancang dan menyelenggarakan kegiatan pembelajaran yang mendidik. Perencanaan pembelajaran yang direncanakan/dirancang dalam bentuk Silabus dan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) tentunya harus tetap mengacu pada prinsip-prinsip pengembangan pembelajaran yang mendidik dan berisi komponen-komponen yang secara minimal telah ditetapkan dalam Permendikbud Nomor 22 Tahun 2016 tentang Standar Proses Pendidikan Dasar dan Menengah.

Kompetensi Guru yang berkaitan dengan perancangan pembelajaran menurut Permendiknas Nomor 16 tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi dan Kompetensi guru adalah kompetensi inti pedagogik mampu menyelenggarakan pembelajaran yang mendidik. Dalam rangka pengembangan pengetahuan dan keterampilan guru dalam menyelenggarakan pembelajaran yang mendidik, dikembangkan modul untuk Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan, dengan harapan dapat memberikan kesempatan yang lebih luas kepada guru untuk belajar lebih mandiri dan aktif. Modul ini dapat digunakan oleh guru sebagai bahan ajar dalam kegiatan pendidikan dan pelatihan (diklat) tatap muka langsung atau tatap muka kombinasi (*in-on-in*).



Pada modul pedagogik kelompok kompetensi I ini, Pengembangan Perencanaan Pembelajaran, Anda dapat mempelajari prinsip perancangan pembelajaran yang mendidik dan pengembangan perancangan pembelajaran mata pelajaran Fisika mulai dari mempelajari kompetensi dasar pengetahuan, keterampilan dan sikap, prinsip-prinsip pengembangan RPP Fisika sesuai kurikulum dan contoh RPP Fisika.

Setiap materi bahasan dikemas dalam kegiatan pembelajaran yang memuat tujuan, indikator pencapaian kompetensi, uraian materi, aktivitas pembelajaran, latihan/kasus/tugas, rangkuman, umpan balik, dan tindak lanjut. Pada setiap komponen modul yang dikembangkan ini telah diintegrasikan beberapa nilai karakter bangsa, baik secara eksplisit maupun implisit yang dapat diimplementasikan selama aktivitas pembelajaran dan dalam kehidupan sehari-hari untuk mendukung pencapaian revolusi mental bangsa. Integrasi ini juga merupakan salah satu cara perwujudan kompetensi sosial dan kepribadian guru (Permendiknas Nomor 16 Tahun 2007) dalam bentuk modul. Selain itu, disediakan latihan soal dalam bentuk pilihan ganda yang berfungsi juga sebagai model untuk guru dalam mengembangkan soal-soal UN/USBN sesuai topik di daerahnya masing-masing.

Pada bagian pendahuluan modul diinformasikan tujuan secara umum yang harus dicapai oleh guru setelah mengikuti diklat, peta kompetensi yang harus dikuasai guru pada kelompok kompetensi I (KK I), Ruang Lingkup, dan Saran Penggunaan Modul. Setelah guru mempelajari modul ini diakhiri dengan evaluasi untuk refleksi diri.

B. Tujuan

Setelah belajar dengan modul PKB Guru Pembelajar kelompok kompetensi I, Anda diharapkan memahami prinsip-prinsip pembelajaran yang mendidik dan terampil dalam mengembangkan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) mata pelajaran Fisika.



C. Peta Kompetensi

Kompetensi inti yang diharapkan setelah Anda belajar mempelajari modul ini adalah mampu menyelenggarakan pembelajaran yang mendidik. Kompetensi Guru Mata Pelajaran dan Indikator Pencapaian Kompetensi yang diharapkan tercapai melalui belajar dengan modul ini tercantum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kompetensi Guru Mapel dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Guru Mata Pelajaran	Indikator Pencapaian Kompetensi
4.1 Memahami prinsip-prinsip perancangan pembelajaran yang mendidik.	4.1.1 Menjelaskan prinsip-prinsip perancangan pembelajaran yang mendidik
4.2 Mengembangkan komponen-komponen rancangan pembelajaran	4.1.2 Memilih padanan antara kompetensi dasar pengetahuan dan keterampilan
	4.1.3 Menentukan kompetensi dasar sikap yang sesuai dengan penerapan kompetensi dasar aspek pengetahuan
	4.1.4 Mengidentifikasi indikator pencapaian kompetensi aspek pengetahuan, keterampilan/sikap
	4.1.5 Menjelaskan prinsip-prinsip penyusunan RPP sesuai Permendikbud yang berlaku
	4.2.1 Menyusun RPP dengan lengkap sesuai Permendikbud yang berlaku

D. Ruang Lingkup

Materi pada Modul Kelompok Kompetensi I mencakup materi tentang Prinsip-prinsip pembelajaran yang mendidik dan Pengembangan perancangan pembelajaran mata pelajaran Fisika. Modul Kelompok Kompetensi I disusun dalam empat bagian, yaitu bagian Pendahuluan, Kegiatan Pembelajaran, Evaluasi dan Penutup. Bagian pendahuluan berisi paparan tentang latar belakang pengembangan modul kelompok kompetensi I, tujuan, kompetensi guru yang diharapkan dapat dicapai setelah pembelajaran, ruang lingkup dan saran penggunaan modul. Bagian kegiatan pembelajaran berisi Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK), Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut serta pada



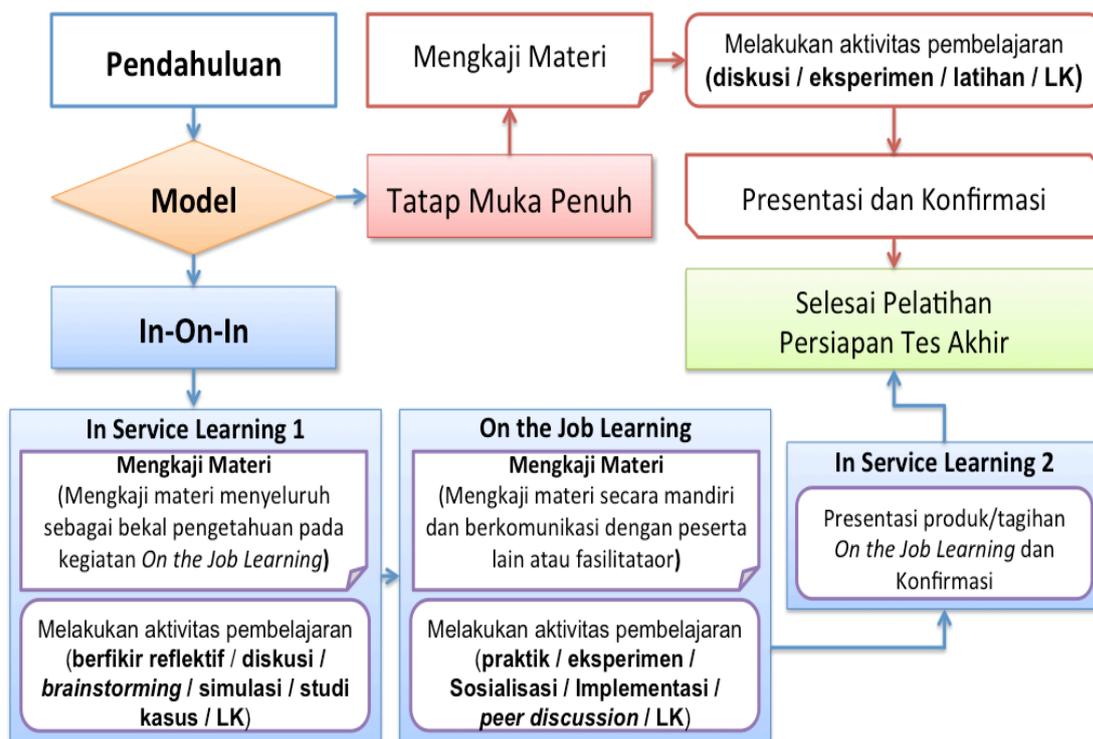
bagian akhir terdapat Kunci Jawaban Latihan/Kasus/Tugas, Evaluasi dan Penutup.

Rincian materi pada modul adalah sebagai berikut.

1. Prinsip-prinsip pembelajaran yang mendidik
2. Pengembangan perencanaan pembelajaran mata pelajaran Fisika

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Secara umum, cara penggunaan modul pada setiap **Aktivitas Pembelajaran** disesuaikan dengan skenario setiap penyajian mata diklat. Modul ini dapat digunakan dalam kegiatan pembelajaran oleh guru, baik untuk moda tatap muka penuh, maupun moda tatap muka kombinasi (*in-on-in*). Berikut ini gambar yang menunjukkan langkah-langkah kegiatan belajar secara umum.

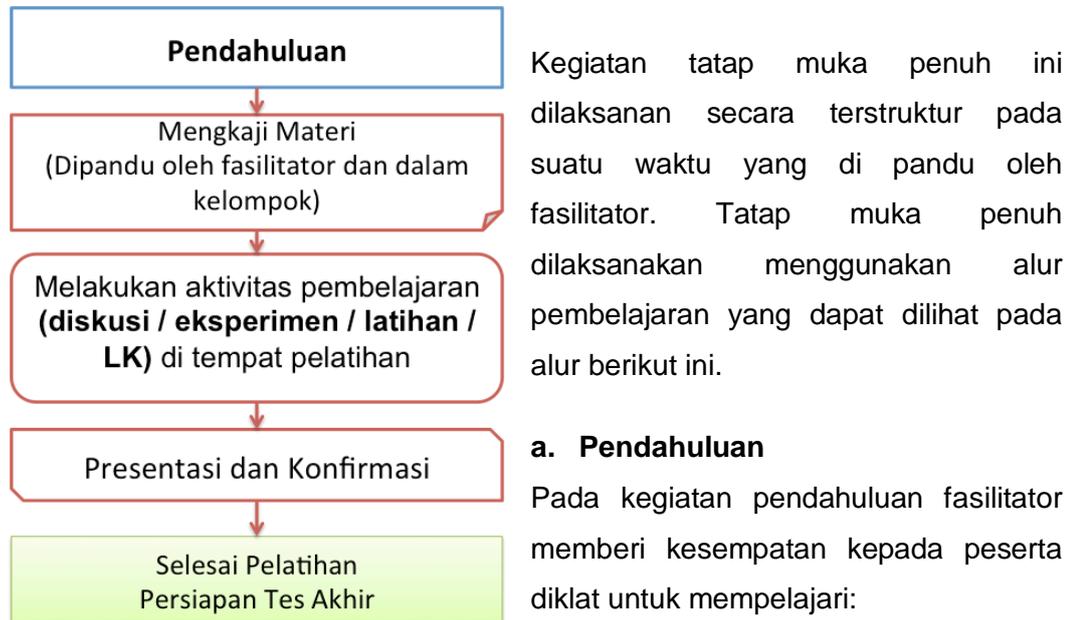


Gambar 1. Alur Strategi Pelaksanaan Pembelajaran Tatap Muka

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat terdapat dua alur kegiatan pelaksanaan kegiatan, yaitu diklat tatap muka penuh dan kombinasi (*In-On-In*). Deskripsi kedua jenis diklat tatap muka ini terdapat pada penjelasan berikut.



1. Deskripsi Kegiatan Diklat Tatap Muka Penuh



Gambar 2. Alur Pembelajaran Tatap Muka Penuh

- latar belakang yang memuat gambaran materi
 - tujuan kegiatan pembelajaran setiap materi
 - kompetensi atau indikator yang akan dicapai melalui modul
 - ruang lingkup materi kegiatan pembelajaran
 - cara penggunaan modul
1. Mengkaji materi diklat
Pada kegiatan ini fasilitator memberi kesempatan kepada guru untuk mempelajari materi yang diuraikan secara singkat sesuai dengan indikator pencapaian hasil belajar. Guru dapat mempelajari materi secara individual atau kelompok.
 2. Melakukan aktivitas pembelajaran
Pada kegiatan ini peserta melakukan kegiatan pembelajaran sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul, baik bagian **1. Diskusi Materi**, **2. Praktik**, **3. Penyusunan Soal UN/USBN** dan aktivitas mengisi soal **Latihan**. Pada kegiatan ini peserta secara aktif menggali informasi, mengumpulkan, dan mengolah data sampai membuat kesimpulan kegiatan.



3. Presentasi dan Konfirmasi

Pada kegiatan ini peserta melakukan presentasi hasil kegiatan sedangkan fasilitator melakukan konfirmasi terhadap materi yang dibahas secara bersama-sama.

4. Refleksi Kegiatan

Pada kegiatan ini peserta dan penyaji merefleksikan penguasaan materi setelah mengikuti seluruh kegiatan pembelajaran.

2. Deskripsi Kegiatan Diklat Tatap Muka Kombinasi

Kegiatan diklat tatap muka kombinasi (*in-on-in*) terdiri atas tiga kegiatan, yaitu tatap muka kesatu (*in-1*), penguasaan (*on the job learning*), dan tatap muka kedua (*in-2*). Secara umum, kegiatan pembelajaran diklat tatap muka kombinasi tergambar pada alur berikut ini.



Gambar 3. Alur Pembelajaran Tatap Muka Kombinasi (*in-on-in*)



Pada Kegiatan *in-1* peserta mempelajari uraian materi dan mengerjakan Aktivitas Pembelajaran bagian **1. Diskusi Materi** di tempat diklat. Pada saat *on the job learning* peserta melakukan Aktivitas Pembelajaran bagian **2. Praktik**, bagian **3. Menyusun Soal UN/USBN**, dan mengisi **Latihan** secara mandiri di tempat kerja masing-masing. Pada Kegiatan *in-2*, peserta melaporkan dan mendiskusikan hasil kegiatan yang dilakukan selama *on the job learning* yang difasilitasi oleh narasumber/instruktur nasional.

Modul ini dilengkapi dengan beberapa kegiatan pada Aktivitas Pembelajaran (BAB II, Bagian E) sebagai cara guru untuk mempelajari materi yang dipandu menggunakan Lembar Kegiatan (LK). Pada kegiatan diklat tatap muka kombinasi, beberapa LK dikerjakan pada *in-1* dan beberapa LK dikerjakan pada saat *on the job learning*. Hasil implementasi LK pada *on the job learning* menjadi tagihan pada kegiatan *in-2*. Berikut ini daftar pengelompokkan Lembar Kegiatan (LK) pada setiap tahap kegiatan tatap muka kombinasi.

Tabel 2. Daftar Lembar Kerja Modul

No	Lembar Kerja	Nama Lembar Kerja	Dilaksanakan Pada Tahap
1.	I1.01	Kajian Topik Pengembangan Perencanaan Pembelajaran	IN1
2.	I1.02	Prinsip-Prinsip Pengembangan RPP dan Komponen RPP	IN1
3.	I1.03	Penyusunan dan Penelaahan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP)	ON

KEGIATAN PEMBELAJARAN

PENGEMBANGAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN

Proses pembelajaran pada dasarnya terjadi secara internal pada diri peserta didik, sebagai akibat adanya stimulus yang diberikan guru, teman, dan lingkungan maupun stimulus yang datang dari dalam diri peserta didik itu sendiri. Dalam proses pembelajaran, guru perlu mengembangkan kedua stimulus pada diri setiap peserta didik. Guru wajib mempertimbangkan karakteristik materi yang akan dibelajarkan serta peserta didik. Di dalam pembelajaran, peserta didik perlu difasilitasi untuk terlibat secara aktif mengembangkan potensi dirinya menjadi kompetensi yang utuh yang menggambarkan kompetensi peserta didik dalam sikap, pengetahuan dan keterampilan. Guru perlu menyediakan pengalaman belajar bagi peserta didik untuk melakukan berbagai kegiatan yang memungkinkan mereka mengembangkan potensi yang dimiliki peserta didik menjadi kompetensi yang ditetapkan dalam sebuah perencanaan. Inilah sebabnya penyusunan rencana pelaksanaan pembelajaran penting untuk disusun oleh guru.

Namun kenyataan yang tidak bisa dipungkiri bahwa masih banyak guru beranggapan bahwa menyusun RPP tidak penting. Bagi mereka, yang terpenting adalah masuk di kelas dan siswa mendapat pelajaran. Pemikiran demikian ini perlu menjadi perhatian para Kepala Sekolah dan Pengawas Sekolah. Setiap perubahan kurikulum, yang menjadi masalah utama sebagian besar guru adalah rencana pelaksanaan pembelajaran. Hal ini bisa dilihat dari banyaknya pendidikan dan pelatihan, *workshop*, maupun kelompok kerja guru (KKG dan MGMP) yang membahas tentang pembuatan RPP. Diketahui bahwa RPP wajib disusun oleh guru sebelum guru masuk kelas. Karena dengan adanya



perencanaan guru telah menetapkan segala keperluan serta metode yang harus diterapkan ketika melaksanakan pembelajaran termasuk dapat mengelolah waktu secara efisien.

A. Tujuan

Setelah Anda membaca dan mempelajari modul ini secara mandiri/kerjasama disertai dengan sikap disiplin, kreatif, dan bertanggung jawab, Anda diharapkan dapat memahami prinsip-prinsip pengembangan perencanaan pembelajaran (RPP) yang mendidik dan mampu mengembangkan komponen-komponen RPP mulai dari mengidentifikasi kompetensi dasar pengetahuan, sikap dan keterampilan, mengembang akan indikator pencapaian kompetensi dan menentukan bahan ajar sesuai dengan prinsip-prinsip pengembangan RPP dan kurikulum pembelajaran Fisika.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi yang diharapkan dicapai melalui kegiatan pembelajaran ini adalah:

1. Menjelaskan prinsip-prinsip perencanaan pembelajaran yang mendidik
2. Memilih padanan antara kompetensi dasar pengetahuan dan keterampilan
3. Menentukan kompetensi dasar sikap yang sesuai dengan penerapan kompetensi dasar aspek pengetahuan
4. Mengidentifikasi indikator pencapaian kompetensi aspek pengetahuan, keterampilan atau sikap
5. Menjelaskan prinsip-prinsip penyusunan RPP sesuai Permendikbud yang berlaku
6. Menyusun RPP dengan lengkap sesuai Permendikbud yang berlaku

C. Uraian Materi

1. Prinsip-Prinsip Pembelajaran yang Mendidik

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan saintifik dan mencakup tiga ranah, yaitu sikap, pengetahuan, dan keterampilan. Dalam proses pembelajaran berbasis pendekatan saintifik, ranah sikap bertujuan agar



peserta didik tahu tentang 'mengapa'. Ranah keterampilan bertujuan agar peserta didik tahu tentang 'bagaimana'. Ranah pengetahuan bertujuan agar peserta didik tahu tentang 'apa'. Hasil akhirnya adalah penguasaan kompetensi sikap, keterampilan, dan pengetahuan yang seimbang sehingga menjadi manusia yang baik (*soft skills*) dan manusia yang memiliki kecakapan dan pengetahuan untuk hidup secara layak (*hard skills*).

Pada permendikbud tentang pembelajaran menyebutkan bahwa kegiatan pembelajaran perlu menggunakan prinsip sebagai berikut:

- a. dari peserta didik diberi tahu menuju peserta didik mencari tahu;
- b. dari guru sebagai satu-satunya sumber belajar menjadi belajar berbasis aneka sumber belajar;
- c. dari pendekatan tekstual menuju proses sebagai penguatan penggunaan pendekatan ilmiah;
- d. dari pembelajaran berbasis konten menuju pembelajaran berbasis kompetensi;
- e. dari pembelajaran parsial menuju pembelajaran terpadu;
- f. dari pembelajaran yang menekankan jawaban tunggal menuju pembelajaran dengan jawaban yang kebenarannya multi dimensi;
- g. dari pembelajaran verbalisme menuju keterampilan aplikatif;
- h. peningkatan dan keseimbangan antara keterampilan fisik (*hardskills*) dan keterampilan mental (*softskills*);
- i. pembelajaran yang mengutamakan pembudayaan dan pemberdayaan peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat;
- j. pembelajaran yang menerapkan nilai-nilai dengan memberi keteladanan (*ing ngarso sung tulodo*), membangun kemauan (*ing madyo mangun karso*), dan mengembangkan kreativitas peserta didik dalam proses pembelajaran (*tut wuri handayani*);
- k. pembelajaran yang berlangsung di rumah di sekolah, dan di masyarakat;
- l. pembelajaran yang menerapkan prinsip bahwa siapa saja adalah guru, siapa saja adalah peserta didik, dan di mana saja adalah kelas;
- m. Pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran; dan



- n. Pengakuan atas perbedaan individual dan latar belakang budaya peserta didik.

Terkait dengan prinsip di atas, dikembangkan standar proses yang mencakup perencanaan proses pembelajaran, pelaksanaan proses pembelajaran, penilaian hasil pembelajaran, dan pengawasan proses pembelajaran

2. Karakteristik Pembelajaran

Karakteristik pembelajaran pada setiap satuan pendidikan terkait erat pada Standar Kompetensi Lulusan dan Standar Isi. Sesuai dengan Standar Kompetensi Lulusan, sasaran pembelajaran mencakup pengembangan ranah sikap, pengetahuan, dan keterampilan yang dielaborasi untuk setiap satuan pendidikan. Ketiga ranah kompetensi tersebut memiliki lintasan perolehan (proses psikologis) yang berbeda. Sikap diperoleh melalui aktivitas “menerima, menjalankan, menghargai, menghayati, dan mengamalkan”. Pengetahuan diperoleh melalui aktivitas “mengingat, memahami, menerapkan, menganalisis, mengevaluasi, mencipta”. Keterampilan diperoleh melalui aktivitas “mengamati, menanya, mencoba, menalar, menyaji, dan mencipta”. Karakteristik kompetensi beserta perbedaan lintasan perolehan turut serta mempengaruhi karakteristik standar proses. Untuk memperkuat pendekatan ilmiah (*scientific*), tematik terpadu (tematik antar matapelajaran), dan tematik (dalam suatu mata pelajaran) perlu diterapkan pembelajaran berbasis penyingkapan/penelitian (*discovery/inquiry learning*). Untuk mendorong kemampuan peserta didik untuk menghasilkan karya kontekstual, baik individual maupun kelompok maka sangat disarankan menggunakan pendekatan pembelajaran yang menghasilkan karya berbasis pemecahan masalah (*project based learning*).

3. Tujuan Mata Pelajaran Fisika

Mata pelajaran Fisika bertujuan agar peserta didik memiliki kemampuan sebagai berikut.

- a. Membentuk sikap positif terhadap fisika dengan menyadari keteraturan dan keindahan alam serta mengagungkan kebesaran Tuhan Yang Maha Esa



- b. Memupuk sikap ilmiah yaitu jujur, obyektif, terbuka, ulet, kritis dan dapat bekerjasama dengan orang lain
- c. Mengembangkan pengalaman untuk dapat merumuskan masalah, mengajukan dan menguji hipotesis melalui percobaan, merancang dan merakit instrumen percobaan, mengumpulkan, mengolah, dan menafsirkan data, serta mengomunikasikan hasil percobaan secara lisan dan tertulis
- d. Mengembangkan kemampuan bernalar dalam berpikir analisis induktif dan deduktif dengan menggunakan konsep dan prinsip fisika untuk menjelaskan berbagai peristiwa alam dan menyelesaikan masalah baik secara kualitatif maupun kuantitatif
- e. Menguasai konsep dan prinsip fisika serta mempunyai keterampilan mengembangkan pengetahuan, dan sikap percaya diri sebagai bekal untuk melanjutkan pendidikan pada jenjang yang lebih tinggi serta mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

4. Kerangka Pembelajaran Fisika

Karakteristik pembelajaran pada setiap satuan pendidikan terkait erat pada Standar Kompetensi Lulusan (SKL) dan Standar Isi. SKL memberikan kerangka konseptual tentang sasaran pembelajaran yang harus dicapai. Standar Isi memberikan kerangka konseptual tentang kegiatan belajar dan pembelajaran yang diturunkan dari tingkat kompetensi dan ruang lingkup materi

Sesuai dengan hakekat Kurikulum 2013, pembelajaran Fisika meliputi pengetahuan, keterampilan, dan sikap serta kemampuan berpikir melalui interaksi langsung dengan sumber belajar yang dirancang melalui kegiatan pembelajaran dalam silabus dan RPP. Pengembangan perencanaan pembelajaran harus dimulai dari analisis kurikulum dengan memadankan antara kompetensi dasar pengetahuan dan keterampilan, menentukan kompetensi dasar sikap yang sesuai dengan penerapan kompetensi dasar aspek pengetahuan. Selanjutnya mengidentifikasi indikator pencapaian kompetensi aspek pengetahuan, keterampilan atau sikap untuk acuan



kegiatan pembelajaran dan penilaian sebagai bagian dari perencanaan pembelajaran.

a. Standar Kompetensi Lulusan

Standar Kompetensi Lulusan merupakan kriteria mengenai kualifikasi kemampuan lulusan yang mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan. Standar Kompetensi Lulusan digunakan sebagai acuan utama pengembangan standar isi, standar proses, standar penilaian pendidikan, standar pendidik dan tenaga kependidikan, standar sarana dan prasarana, standar pengelolaan, dan standar pembiayaan. Kompetensi Lulusan terdiri atas tiga dimensi, sebagai berikut.

Tabel 1.1 Standar Kompetensi Lulusan

SMA/MA/SMK/MAK/SMALB/Paket C	
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan
Sikap	Memiliki perilaku yang mencerminkan sikap: 1. beriman dan bertakwa kepada Tuhan YME, 2. berakarakter, jujur, dan peduli, 3. bertanggungjawab, 4. pembelajar sejati sepanjang hayat, dan 5. sehat jasmani dan rohani Sesuai dengan perkembangan anak di lingkungan keluarga, sekolah, masyarakat dan lingkungan alam sekitar, bangsa, negara, kawasan regional, dan internasional.
Pengetahuan	Memiliki pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif pada tingkat teknis, spesifik, detil, dan kompleks berkenaan dengan: 1. ilmu pengetahuan, 2. teknologi, 3. seni, 4. budaya, dan 5. humaniora. Mampu mengaitkan pengetahuan di atas dalam konteks diri sendiri, keluarga, sekolah, masyarakat dan lingkungan alam sekitar, bangsa, negara, serta kawasan regional dan internasional.
Keterampilan	Memiliki keterampilan berpikir dan bertindak: 1. kreatif, 2. produktif, 3. kritis, 4. mandiri, 5. kolaboratif, dan 6. komunikatif melalui pendekatan ilmiah sebagai pengembangan dari yang dipelajari di satuan pendidikan dan sumber lain secara mandiri



b. Standar Isi

Standar Isi adalah kriteria mengenai ruang lingkup materi dan tingkat Kompetensi untuk mencapai Kompetensi lulusan pada jenjang dan jenis pendidikan tertentu diuraikan dalam tabel berikut.

Tabel 1.2 Tingkat Kompetensi dan Lingkup Materi

Tingkat Kompetensi	Tingkat Kelas	Kompetensi	Ruang Lingkup Materi
Tingkat Pendidikan Menengah	X-XII	<ol style="list-style-type: none">1. Mengembangkan sikap rasa ingin tahu, jujur, tanggung jawab, logis, kritis, analitis, dan kreatif melalui pembelajaran fisika.2. Merumuskan permasalahan yang berkaitan dengan fenomena fisika benda, merumuskan hipotesis, mendesain dan melaksanakan eksperimen, melakukan pengukuran secara teliti, mencatat dan menyajikan hasil dalam bentuk tabel dan grafik, menyimpulkan, serta melaporkan hasilnya secara lisan maupun tertulis.3. Menganalisis konsep, prinsip, dan hukum mekanika, fluida, termodinamika, gelombang, dan optik serta menerapkan metakognisi dalam menjelaskan fenomena alam dan penyelesaian masalah kehidupan.4. Memodifikasi atau merancang proyek sederhana berkaitan dengan penerapan konsep mekanika fluida, termodinamika, gelombang, atau optik.	<ol style="list-style-type: none">1. Hakikat fisika dan pengukuran besaran fisis2. Kinematika gerak3. Dinamika gerak4. Elastisitas dan hukum Hooke5. Fluida statik dan dinamik6. Suhu, kalor, gejala pemanasan global (penyebab, dampak, dan solusi pemecahan)7. Teori inetik gas8. Persamaan gelombang9. Cahaya dan alat-alat optik10. Bunyi
		<ol style="list-style-type: none">5. Mengembangkan sikap rasa ingin tahu, jujur, tanggung jawab, logis, kritis, analitis, dan kreatif melalui pembelajaran fisika.6. Merumuskan permasalahan yang berkaitan dengan fenomena fisika, merumuskan hipotesis, mendesain dan melaksanakan eksperimen, melakukan pengukuran secara teliti, mencatat dan menyajikan hasil dalam bentuk tabel dan grafik, menyimpulkan, serta melaporkan hasilnya secara lisan maupun tertulis.7. Menganalisis konsep, prinsip, dan hukum kelistrikan, kemagnetan, dan fisika modern serta menerapkan	<ol style="list-style-type: none">11. Rangkaian listrik searah (DC)12. Rangkaian arus bolak-balik (AC)13. Induksi Faraday14. Radiasi elektromagnetik15. Teknologi digital16. Konsep dan fenomena kuantum17. Inti atom, radioaktivitas, dan pemanfaatannya dalam kehidupan



Tingkat Kompetensi	Tingkat Kelas	Kompetensi	Ruang Lingkup Materi
		metakognisi dalam menjelaskan fenomena alam dan penyelesaian masalah kehidupan. 8. Menciptakan produk sederhana berkaitan dengan penerapan konsep kelistrikan dan/atau kemagnetan.	

**Tingkat Kompetensi merupakan kriteria capaian Kompetensi yang bersifat generik yang harus dipenuhi oleh peserta didik pada setiap tingkat kelas dalam rangka pencapaian Standar Kompetensi Lulusan*

c. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

Tujuan kurikulum mencakup empat kompetensi, yaitu (1) kompetensi sikap spiritual, (2) sikap sosial, (3) pengetahuan, dan (4) keterampilan. Kompetensi tersebut dicapai melalui proses pembelajaran intrakurikuler, kokurikuler, dan/atau ekstrakurikuler.

Rumusan Kompetensi Sikap Spiritual yaitu, “Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya”. Adapun rumusan Kompetensi Sikap Sosial yaitu, “Menunjukkan perilaku jujur, disiplin, tanggung jawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif, dan pro-aktif sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia”. Kedua kompetensi tersebut dicapai melalui pembelajaran tidak langsung (indirect teaching), yaitu keteladanan, pembiasaan, dan budaya sekolah dengan memperhatikan karakteristik mata pelajaran, serta kebutuhan dan kondisi peserta didik.

Kerangka pengembangan Kompetensi Dasar (KD) ilmu Fisika mengacu pada Kompetensi Inti (KI) sebagai unsur pengorganisasi KD secara vertikal dan horizontal. Pengembangan kompetensi dasar berdasarkan pada prinsip akumulatif, saling memperkuat (reinforced) dan memperkaya (enriched) antar mata pelajaran dan jenjang pendidikan (organisasi horizontal dan vertikal). Organisasi KD secara vertikal, berupa keterkaitan KD antar kelas harus memenuhi prinsip belajar, yaitu terjadi suatu akumulasi yang berkesinambungan antar kompetensi yang dipelajari siswa. Organisasi KD



secara horizontal berupa keterkaitan antara KD suatu mata pelajaran dengan KD mata pelajaran lain dalam satu kelas yang sama sehingga terjadi proses saling memperkuat.

Penjabaran lengkap mengenai kompetensi dasar mata pelajaran Fisika per jenjang kelas sesuai dengan lampiran Permendikbud Nomor 24 Tahun 2016 tentang Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar Pelajaran Pada Kurikulum 2013 Pada Pendidikan Dasar Dan Pendidikan Menengah tertera pada tabel berikut.

Kelas X

KOMPETENSI INTI 3 (PENGETAHUAN)	KOMPETENSI INTI 4 (KETERAMPILAN)
3. Memahami, menerapkan, menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural berdasarkan rasa ingintahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah	4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu menggunakan metode sesuai kaidah keilmuan

KOMPETENSI DASAR	KOMPETENSI DASAR
3.1 Menjelaskan hakikat ilmu Fisika dan perannya dalam kehidupan, metode ilmiah, dan keselamatan kerja di laboratorium	4.1 Membuat prosedur kerja ilmiah dan keselamatan kerja misalnya pada pengukuran kalor
3.2 Menerapkan prinsip-prinsip pengukuran besaran fisis, ketepatan, ketelitian dan angka penting, serta notasi ilmiah	4.2 Menyajikan hasil pengukuran besaran fisis berikut ketelitiannya dengan menggunakan peralatan dan teknik yang tepat serta mengikuti kaidah angka penting untuk suatu penyelidikan ilmiah
3.3 Menerapkan prinsip penjumlahan vektor sebidang (misalnya perpindahan)	4.3 Merancang percobaan untuk menentukan resultan vektor sebidang (misalnya perpindahan) beserta presentasi hasil dan makna fisisnya



KOMPETENSI DASAR	KOMPETENSI DASAR
3.4 Menganalisis besaran-besaran fisis pada gerak lurus dengan kecepatan konstan (tetap) dan gerak lurus dengan percepatan konstan (tetap) berikut penerapannya dalam kehidupan sehari-hari misalnya keselamatan lalu lintas	4.4 Menyajikan data dan grafik hasil percobaan gerak benda untuk menyelidiki karakteristik gerak lurus dengan kecepatan konstan (tetap) dan gerak lurus dengan percepatan konstan (tetap) berikut makna fisisnya
3.5 Menganalisis gerak parabola dengan menggunakan vektor, berikut makna fisisnya dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari	4.5 Mempresentasikan data hasil percobaan gerak parabola dan makna fisisnya
3.6 Menganalisis besaran fisis pada gerak melingkar dengan laju konstan (tetap) dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari	4.6 Melakukan percobaan berikut presentasi hasilnya tentang gerak melingkar, makna fisis dan pemanfaatannya
3.7 Menganalisis interaksi pada gaya serta hubungan antara gaya, massa dan gerak lurus benda serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari	4.7 Melakukan percobaan berikut presentasi hasilnya terkait gaya serta hubungan gaya, massa dan percepatan dalam gerak lurus benda dengan menerapkan metode ilmiah
3.8 Menganalisis keteraturan gerak planet dan satelit dalam tatasurya berdasarkan hukum-hukum Newton	4.8 Menyajikan karya mengenai gerak satelit buatan yang mengorbit bumi, pemanfaatan dan dampak yang ditimbulkannya dari penelusuran berbagai sumber informasi
3.9 Menganalisis konsep energi, usaha (kerja), hubungan usaha (kerja) dan perubahan energi, hukum kekekalan energi, serta penerapannya dalam peristiwa sehari-hari	4.9 Menerapkan metode ilmiah untuk mengajukan gagasan penyelesaian masalah gerak dalam kehidupan sehari-hari, yang berkaitan dengan konsep energi, usaha (kerja) dan hukum kekekalan energi
3.10 Menerapkan konsep momentum dan impuls, serta hukum kekekalan momentum dalam kehidupan sehari-hari	4.10 Menyajikan hasil pengujian penerapan hukum kekekalan momentum, misalnya bola jatuh bebas ke lantai dan roket sederhana
3.11 Menganalisis hubungan antara gaya dan getaran dalam kehidupan sehari-hari	4.11 Melakukan percobaan getaran harmonis pada ayunan sederhana dan/atau getaran pegas berikut presentasi hasil percobaan serta makna fisisnya

Kelas XI

KOMPETENSI INTI 3 (PENGETAHUAN)	KOMPETENSI INTI 4 (KETERAMPILAN)
3. Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual,	4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait



KOMPETENSI INTI 3 (PENGETAHUAN)	KOMPETENSI INTI 4 (KETERAMPILAN)
konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah	dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, serta mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan

KOMPETENSI DASAR	KOMPETENSI DASAR
3.1 Menerapkan konsep torsi, momen inersia, titik berat, dan momentum sudut pada benda tegar (statis dan dinamis) dalam kehidupan sehari-hari misalnya dalam olahraga	4.1 Membuat karya yang menerapkan konsep titik berat dan kesetimbangan benda tegar
3.2 Menganalisis sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari	4.2 Melakukan percobaan tentang sifat elastisitas suatu bahan berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya
3.3 Menerapkan hukum-hukum fluida statik dalam kehidupan sehari-hari	4.3 Merancang dan melakukan percobaan yang memanfaatkan sifat-sifat fluida statik, berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya
3.4 Menerapkan prinsip fluida dinamik dalam teknologi	4.4 Membuat dan menguji proyek sederhana yang menerapkan prinsip dinamika fluida
3.5 Menganalisis pengaruh kalor dan perpindahan kalor yang meliputi karakteristik termal suatu bahan, kapasitas, dan konduktivitas kalor pada kehidupan sehari-hari	4.5 Merancang dan melakukan percobaan tentang karakteristik termal suatu bahan, terutama terkait dengan kapasitas dan konduktivitas kalor, beserta presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya
3.6 Menjelaskan teori kinetik gas dan karakteristik gas pada ruang tertutup	4.6 Menyajikan karya yang berkaitan dengan teori kinetik gas dan makna fisisnya



KOMPETENSI DASAR	KOMPETENSI DASAR
3.7 Menganalisis perubahan keadaan gas ideal dengan menerapkan hukum Termodinamika	4.7 Membuat karya/model penerapan hukum I dan II Termodinamika berikut presentasi makna fisisnya
3.8 Menganalisis karakteristik gelombang mekanik	4.8 Melakukan percobaan tentang salah satu karakteristik gelombang mekanik berikut presentasi hasilnya
3.9 Menganalisis besaran-besaran fisis gelombang berjalan dan gelombang stasioner pada berbagai kasus nyata	4.9 Melakukan percobaan gelombang berjalan dan gelombang stasioner, beserta presentasi hasil percobaan dan makna fisisnya
3.10 Menerapkan konsep dan prinsip gelombang bunyi dan cahaya dalam teknologi	4.10 Melakukan percobaan tentang gelombang bunyi dan/atau cahaya, berikut presentasi hasil percobaan dan makna fisisnya misalnya sonometer, dan kisi difraksi
3.11 Menganalisis cara kerja alat optik menggunakan sifat pemantulan dan pembiasan cahaya oleh cermin dan lensa	4.11 Membuat karya yang menerapkan prinsip pemantulan dan/atau pembiasan pada cermin dan lensa
3.12 Menganalisis gejala pemanasan global dan dampaknya bagi kehidupan serta lingkungan	4.12 Mengajukan ide/gagasan penyelesaian masalah pemanasan global sehubungan dengan gejala dan dampaknya bagi kehidupan serta lingkungan

Kelas XII

KOMPETENSI INTI 3 (PENGETAHUAN)	KOMPETENSI INTI 4 (KETERAMPILAN)
3. Memahami, menerapkan, menganalisis dan mengevaluasi pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat	4. Mengolah, menalar, menyaji, dan mencipta dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri serta bertindak secara efektif dan kreatif, dan mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan



KOMPETENSI INTI 3 (PENGETAHUAN)	KOMPETENSI INTI 4 (KETERAMPILAN)
dan minatnya untuk memecahkan masalah	

KOMPETENSI DASAR	KOMPETENSI DASAR
3.1 Menganalisis prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) berikut keselamatannya dalam kehidupan sehari-hari	4.1 Melakukan percobaan prinsip kerja rangkaian listrik searah (DC) dengan metode ilmiah berikut presentasi hasil percobaan
3.2 Menganalisis muatan listrik, gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik serta penerapannya pada berbagai kasus	4.2 Melakukan percobaan berikut presentasi hasil percobaan kelistrikan (misalnya pengisian dan pengosongan kapasitor) dan manfaatnya dalam kehidupan sehari
3.3 Menganalisis medan magnetik, induksi magnetik, dan gaya magnetik pada berbagai produk teknologi	4.3 Melakukan percobaan tentang induksi magnetik dan gaya magnetik disekitar kawat berarus listrik berikut presentasi hasilnya
3.4 Menganalisis fenomena induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari	4.4 Melakukan percobaan tentang induksi elektromagnetik berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari
3.5 Menganalisis rangkaian arus bolak-balik (AC) serta penerapannya	4.5 Mempresentasikan prinsip kerja penerapan rangkaian arus bolak-balik (AC) dalam kehidupan sehari-hari
3.6 Menganalisis fenomena radiasi elektromagnetik, pemanfaatannya dalam teknologi, dan dampaknya pada kehidupan	4.6 Mempresentasikan manfaat dan dampak radiasi elektromagnetik pada kehidupan sehari-hari
3.7 Menjelaskan fenomena perubahan panjang, waktu, dan massa dikaitkan dengan kerangka acuan dan kesetaraan massa dengan energi dalam teori relativitas khusus	4.7 Membuat karya/model penerapan hukum I dan II Termodinamika berikut presentasi makna fisisnya
3.8 Menjelaskan secara kualitatif gejala kuantum yang mencakup sifat radiasi benda hitam, efek fotolistrik, efek Compton, dan sinar X dalam kehidupan sehari-hari	4.8 Melakukan percobaan tentang salah satu karakteristik gelombang mekanik berikut presentasi hasilnya



KOMPETENSI DASAR	KOMPETENSI DASAR
3.9 Menjelaskan konsep penyimpanan dan transmisi data dalam bentuk analog dan digital serta penerapannya dalam teknologi informasi dan komunikasi yang nyata dalam kehidupan sehari-hari	4.9 Melakukan percobaan gelombang berjalan dan gelombang stasioner, beserta presentasi hasil percobaan dan makna fisisnya
3.10 Menganalisis karakteristik inti atom, radioaktivitas, pemanfaatan, dampak, dan proteksinya dalam kehidupan sehari-hari	4.10 Melakukan percobaan tentang gelombang bunyi dan/atau cahaya, berikut presentasi hasil percobaan dan makna fisisnya misalnya sonometer, dan kisi difraksi
3.11 Menganalisis keterbatasan sumber energi dan dampaknya bagi kehidupan	4.11 Membuat karya yang menerapkan prinsip pemantulan dan/atau pembiasan pada cermin dan lensa

Penumbuhan dan pengembangan kompetensi sikap dilakukan sepanjang proses pembelajaran berlangsung dan dapat digunakan sebagai pertimbangan guru dalam mengembangkan karakter peserta didik lebih lanjut.

KI Sikap Spiritual dan KI Sikap Sosial pada mata pelajaran Fisika tidak dirumuskan, tetapi menjadi fondasi dalam pembelajaran Fisika. Kompetensi sikap spiritual dan sikap sosial dicapai melalui pembelajaran tidak langsung yaitu keteladanan, pembiasaan dan budaya sekolah, dengan memperhatikan karakteristik mata pelajaran serta kebutuhan dan kondisi siswa. Pengembangan kompetensi sikap dilakukan sepanjang proses pembelajaran berlangsung.

KI Pengetahuan dan KI Keterampilan dirinci lebih lanjut dalam KD mata pelajaran. Rumusan kata kerja pada KD mata pelajaran Fisika disusun sebagai tingkatan kompetensi yang disesuaikan dengan ruang lingkup materi Ilmu Alam.

d. Indikator Pencapaian Kompetensi

1) Pengertian

Indikator merupakan penanda pencapaian KD yang ditandai oleh perubahan perilaku yang dapat diukur yang mencakup sikap,



pengetahuan, dan keterampilan. Indikator dikembangkan sesuai dengan karakteristik peserta didik, mata pelajaran, satuan pendidikan, potensi daerah dan dirumuskan dalam kata kerja operasional yang terukur dan/atau dapat diobservasi.

Dalam mengembangkan indikator perlu mempertimbangkan hal-hal berikut.

- a) tuntutan kompetensi yang dapat dilihat melalui kata kerja yang digunakan dalam KD;
- b) karakteristik mata pelajaran, peserta didik, dan sekolah;
- c) potensi dan kebutuhan peserta didik, masyarakat, dan lingkungan/daerah.

Dalam mengembangkan pembelajaran dan penilaian, terdapat dua rumusan indikator, yaitu:

- a) Indikator pencapaian kompetensi yang dikenal sebagai indikator yang terdapat dalam RPP.
- b) Indikator penilaian yang digunakan dalam menyusun kisi-kisi dan menulis soal yang dikenal sebagai indikator soal.

2) Fungsi Indikator

Indikator memiliki kedudukan yang sangat strategis dalam mengembangkan pencapaian kompetensi dasar. Indikator berfungsi sebagai berikut:

- a) Pedoman dalam mengembangkan materi pembelajaran
Pengembangan materi pembelajaran harus sesuai dengan indikator yang dikembangkan. Indikator yang dirumuskan secara cermat dapat memberikan arah dalam pengembangan materi pembelajaran yang efektif sesuai dengan karakteristik mata pelajaran, potensi dan kebutuhan peserta didik, sekolah, serta lingkungan.
- b) Pedoman dalam mendesain kegiatan pembelajaran
Pengembangan desain pembelajaran hendaknya sesuai dengan indikator yang dikembangkan, karena indikator dapat memberikan gambaran kegiatan pembelajaran yang efektif untuk mencapai kompetensi. Indikator yang menuntut kompetensi dominan pada



aspek prosedural menunjukkan agar kegiatan pembelajaran dilakukan tidak dengan strategi *ekspositori* melainkan lebih tepat dengan strategi *discovery-inquiry*.

c) Pedoman dalam mengembangkan bahan ajar

Bahan ajar perlu dikembangkan oleh guru guna menunjang pencapaian kompetensi peserta didik. Pemilihan bahan ajar yang efektif harus sesuai tuntutan indikator sehingga dapat meningkatkan pencapaian kompetensi secara maksimal.

d) Pedoman dalam merancang dan melaksanakan penilaian hasil belajar

Indikator menjadi pedoman dalam merancang, melaksanakan, serta mengevaluasi hasil belajar. Rancangan penilaian memberikan acuan dalam menentukan bentuk dan jenis penilaian, serta pengembangan indikator penilaian.

3) Mekanisme Pengembangan Indikator

Pengembangan indikator harus mengakomodasi kompetensi yang tercantum dalam KD. Indikator dirumuskan dalam bentuk kalimat dengan menggunakan kata kerja operasional. Rumusan indikator sekurang-kurangnya mencakup dua hal yaitu tingkat kompetensi dan materi yang menjadi media pencapaian kompetensi.

Kata kerja operasional pada indikator pencapaian kompetensi aspek pengetahuan dapat mengacu pada ranah kognitif taksonomi Bloom, aspek sikap dapat mengacu pada ranah afektif taksonomi Bloom, aspek keterampilan dapat mengacu pada ranah psikomotor taksonomi Bloom.

Indikator pencapaian kompetensi untuk KD pada KI-3 dan KI-4 dirumuskan dalam bentuk perilaku spesifik yang dapat terukur dan/atau diobservasi. Indikator pencapaian kompetensi dikembangkan menjadi indikator soal yang diperlukan untuk penyusunan instrumen penilaian. Indikator tersebut digunakan sebagai rambu-rambu dalam penyusunan butir soal atau tugas. Indikator pencapaian kompetensi pengetahuan dan keterampilan merupakan ukuran, karakteristik, atau ciri-ciri yang menunjukkan ketercapaian suatu KD tertentu dan menjadi acuan dalam penilaian KD mata pelajaran. Setiap Indikator pencapaian kompetensi



dapat dikembangkan menjadi satu atau lebih indikator soal pengetahuan dan keterampilan. Sedangkan untuk mengukur pencapaian sikap digunakan indikator penilaian sikap yang dapat diamati. Indikator untuk penilaian sikap spiritual yang dilakukan oleh pendidik mata pelajaran lain tidak selalu dapat diturunkan secara langsung dari KD pada KI-1, melainkan dirumuskan dalam perilaku beragama secara umum.

5. Hakikat RPP

Perencanaan merupakan kegiatan awal yang dilakukan setiap orang jika ingin melakukan kegiatan. Pada umumnya keberhasilan suatu program kegiatan yang dilakukan seseorang sangat ditentukan seberapa besar kualitas perencanaan yang dibuatnya. Seseorang yang melakukan kegiatan tanpa perencanaan ada kecenderungan mengalami kegagalan karena tidak memiliki acuan apa yang seharusnya dilakukan dalam rangka keberhasilan kegiatan yang dilakukan.

Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) merupakan rencana kegiatan pembelajaran tatap muka untuk satu pertemuan atau lebih. RPP dikembangkan dari silabus untuk mengarahkan kegiatan pembelajaran peserta didik dalam upaya mencapai Kompetensi Dasar (KD). Setiap pendidik pada satuan pendidikan berkewajiban menyusun RPP secara lengkap dan sistematis agar pembelajaran berlangsung secara interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, efisien, memotivasi peserta didik untuk berpartisipasi aktif, serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas, dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat, dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik. RPP disusun berdasarkan KD atau subtema yang dilaksanakan kali pertemuan atau lebih.

Kurikulum pada dasarnya memuat apa yang seharusnya diajarkan kepada peserta didik, sedangkan pembelajaran merupakan cara yang dilakukan oleh guru dan peserta didik dalam usaha mencapai kompetensi secara utuh yang mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan. Konsep-konsep inilah yang dimuat dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) yang wajib dikembangkan oleh guru yang mengacu pada Silabus.

Pengembangan RPP dapat dilakukan oleh guru secara mandiri dan/atau berkelompok di sekolah/madrasah kemudian dikoordinasi, difasilitasi, dan



disupervisi oleh kepala sekolah/madrasah. Pengembangan RPP dapat juga dilakukan oleh guru secara berkelompok antarsekolah atau antarwilayah dikoordinasi, difasilitasi, dan disupervisi oleh Dinas Pendidikan atau kantor kementerian agama setempat.

6. Prinsip Penyusunan RPP

Dalam menyusun RPP hendaknya memperhatikan prinsip-prinsip sebagai berikut:

- a. Perbedaan individual peserta didik antara lain kemampuan awal, tingkat intelektual, bakat, potensi, minat, motivasi belajar, kemampuan sosial, emosi, gaya belajar, kebutuhan khusus, kecepatan belajar, latar belakang budaya, norma, nilai, dan/atau lingkungan peserta didik;
- b. Partisipasi aktif peserta didik;
- c. Berpusat pada peserta didik untuk mendorong semangat belajar, motivasi, minat, kreativitas, inisiatif, inspirasi, inovasi dan kemandirian;
- d. Pengembangan budaya membaca dan menulis yang dirancang untuk mengembangkan kegemaran membaca, pemahaman beragam bacaan, dan berekspresi dalam berbagai bentuk tulisan;
- e. Pemberian umpan balik dan tindak lanjut RPP memuat rancangan program pemberian umpan balik positif, penguatan, pengayaan, dan remedi;
- f. Penekanan pada keterkaitan dan keterpaduan antara KD, materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran, indicator pencapaian kompetensi, penilaian, dan sumber belajar dalam satu keutuhan pengalaman belajar;
- g. Mengakomodasi pembelajaran tematik-terpadu, keterpaduan lintas mata pelajaran, lintas aspek belajar, dan keragaman budaya;
- h. Penerapan teknologi informasi dan komunikasi secara terintegrasi, sistematis, dan efektif sesuai dengan situasi dan kondisi.

7. Komponen dan Sistematika RPP

Komponen dan sistematika RPP selalu berkembang dan berubah-ubah sesuai kebijakan yang berlaku, tetapi prinsip-prinsip penembangannya tidak terlalu berbeda.

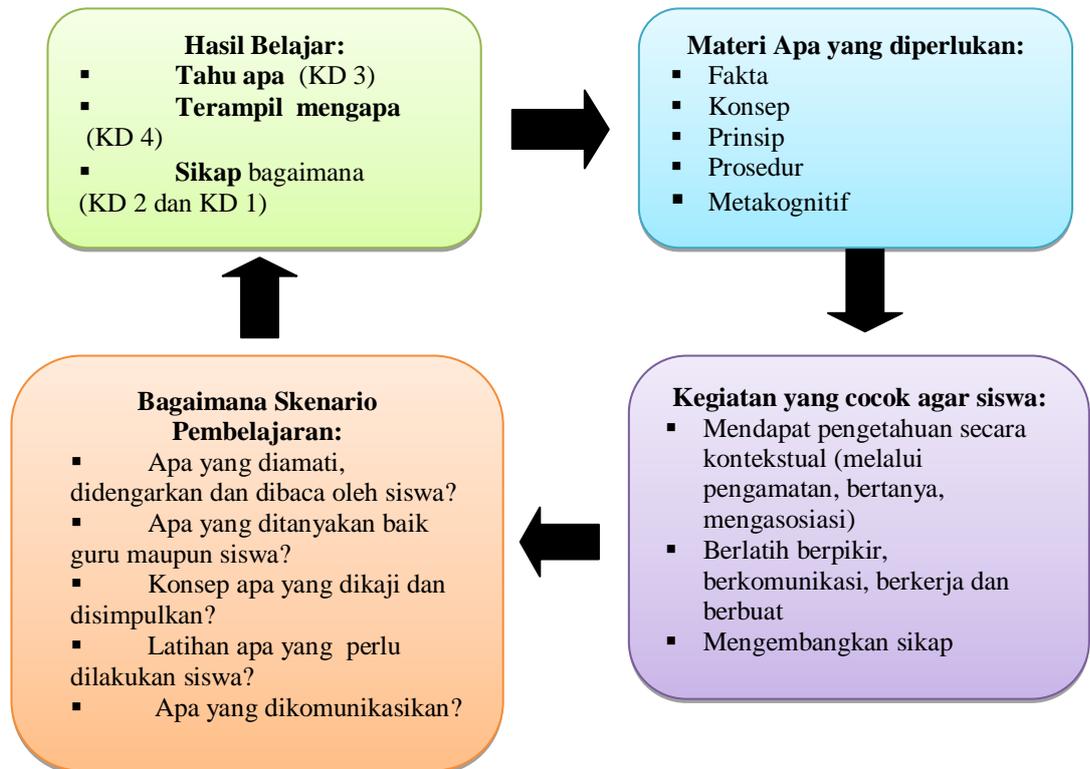


Komponen RPP berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan (Permendikbud) Nomor 22 Tahun 2016, terdiri atas:

- a. identitas sekolah yaitu nama satuan pendidikan;
- b. identitas mata pelajaran atau tema/subtema;
- c. kelas/semester;
- d. materi pokok;
- e. alokasi waktu ditentukan sesuai dengan keperluan untuk pencapaian KD dan beban belajar dengan mempertimbangkan jumlah jam pelajaran yang tersedia dalam silabus dan KD yang harus dicapai;
- f. tujuan pembelajaran yang dirumuskan berdasarkan KD, dengan menggunakan kata kerja operasional yang dapat diamati dan diukur, yang mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan;
- g. kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi;
- h. materi pembelajaran, memuat fakta, konsep, prinsip, dan prosedur yang relevan, dan ditulis dalam bentuk butir-butir sesuai dengan rumusan indikator ketercapaian kompetensi;
- i. metode pembelajaran, digunakan oleh pendidik untuk mewujudkan suasana belajar dan proses pembelajaran agar peserta didik mencapai KD yang disesuaikan dengan karakteristik peserta didik dan KD yang akan dicapai;
- j. media pembelajaran, berupa alat bantu proses pembelajaran untuk menyampaikan materi pelajaran;
- k. sumber belajar, dapat berupa buku, media cetak dan elektronik, alam sekitar, atau sumber belajar lain yang relevan;
- l. langkah-langkah pembelajaran dilakukan melalui tahapan pendahuluan, inti, dan penutup; dan
- m. penilaian hasil pembelajaran

8. Pola Pikir dan Langkah Penyusunan RPP

Dalam mengembangkan RPP sesuai kurikulum 2013, pola pikir yang dapat dikembangkan agar siswa memperoleh sikap, pengetahuan dan keterampilan secara utuh melalui mengamati, menanya, menalar/mengasosiasi, mencoba/mengumpulkan informasi, dan mengomunikasikan, dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1.1. Pola Pikir Pengembangan RPP

Berdasarkan **Gambar 1.1** di atas dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama hal yang sangat penting yang harus dipikirkan dalam merancang RPP adalah hasil belajar siswa (sikap, pengetahuan, dan keterampilan) yang diinginkan dalam pembelajaran. Dalam konteks ini yang perlu dirancang adalah tujuan pembelajaran. Berdasarkan tujuan tersebut, langkah selanjutnya yang perlu dipikirkan adalah materi yang diperlukan baik dalam bentuk fakta, konsep, prinsip, prosedur, dan metakognitif agar tujuan pembelajaran tersebut tercapai. Langkah selanjutnya adalah merancang kegiatan agar siswa mendapat pengetahuan secara kontekstual melalui mengamati, menanya, mengasosiasi, berlatih berpikir, berkomunikasi, bekerja dan berbuat serta mengembangkan sikap spiritual maupun sikap sosial. Langkah selanjutnya adalah yang perlu dirancang adalah skenario pembelajaran yang mencakup: apa yang diamati, didengarkan, dan dibaca oleh siswa, apa yang ditanyakan oleh siswa, konsep apa yang dikaji dan disimpulkan oleh siswa, latihan apa yang perlu dilakukan siswa, dan apa yang dikomunikasikan oleh siswa. Dengan pola pikir tersebut dapat memudahkan guru dalam membuat RPP.



Berdasarkan pola pikir tersebut dapat diuraikan secara lebih terperinci langkah-langkah penyusunan RPP sebagai berikut.

- a. Pengkajian silabus meliputi: (1) KI dan KD; (2) materi pembelajaran; (3) proses pembelajaran; (4) penilaian pembelajaran; (5) alokasi waktu; dan (6) sumber belajar;
- b. Perumusan indikator pencapaian KD pada KI-1, KI-2, KI-3, dan KI-4;
- c. Materi Pembelajaran dapat berasal dari buku teks pelajaran dan buku panduan guru, sumber belajar lain berupa muatan lokal, materi kekinian, konteks pembelajaran dari lingkungan sekitar yang dikelompokkan menjadi materi untuk pembelajaran reguler, pengayaan, dan remedial;
- d. Penjabaran Kegiatan Pembelajaran yang ada pada silabus dalam bentuk yang lebih operasional berupa pendekatan saintifik disesuaikan dengan kondisi peserta didik dan satuan pendidikan termasuk penggunaan media, alat, bahan, dan sumber belajar;
- e. Penentuan alokasi waktu untuk setiap pertemuan berdasarkan alokasi waktu pada silabus, selanjutnya dibagi ke dalam kegiatan pendahuluan, inti, dan penutup;
- f. Pengembangan penilaian pembelajaran dengan cara menentukan lingkup, teknik, dan instrumen penilaian, serta membuat pedoman penskoran;
- g. Menentukan strategi pembelajaran remedial segera setelah dilakukan penilaian; dan
- h. Menentukan Media, Alat, Bahan dan Sumber Belajar disesuaikan dengan yang telah ditetapkan dalam langkah penjabaran proses pembelajaran.

9. Pelaksanaan Pembelajaran

Pada RPP, guru harus menyusun skenario pelaksanaan pembelajaran pada kegiatan pembelajaran mulai dari pendahuluan, kegiatan inti dan kegiatan penutup. Langkah-langkah kegiatan tersebut secara rinci telah ditetapkan dalam peraturan, guru dapat menyesuaikan dengan situasi atau kondisi kelas dan topik atau materi pelajaran yang akan disajikan. Langkah pembelajaran yang disarankan pada Permendikbud nomor 103 tahun 2014 adalah sebagai berikut.



a. Kegiatan Pendahuluan

Dalam kegiatan pendahuluan, guru:

- 1) mengondisikan suasana belajar yang menyenangkan;
- 2) mendiskusikan kompetensi yang sudah dipelajari dan dikembangkan sebelumnya berkaitan dengan kompetensi yang akan dipelajari dan dikembangkan;
- 3) menyampaikan kompetensi yang akan dicapai dan manfaatnya dalam kehidupan sehari-hari;
- 4) menyampaikan garis besar cakupan materi dan kegiatan yang akan dilakukan; dan
- 5) menyampaikan lingkup dan teknik penilaian yang akan digunakan.

b. Kegiatan Inti

Kegiatan inti merupakan proses pembelajaran untuk mencapai kompetensi, yang dilakukan secara interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, memotivasi peserta didik untuk berpartisipasi aktif, serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas, dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik.

Kegiatan inti menggunakan pendekatan saintifik yang disesuaikan dengan karakteristik mata pelajaran dan peserta didik. Guru memfasilitasi peserta didik untuk melakukan proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi/mencoba, mengasosiasi/ menalar, dan mengomunikasikan.

Dalam setiap kegiatan guru harus memperhatikan perkembangan sikap peserta didik pada kompetensi dasar dari KI-1 dan KI-2 antara lain mensyukuri karunia Tuhan, jujur, teliti, kerja sama, toleransi, disiplin, taat aturan, menghargai pendapat orang lain yang tercantum dalam silabus dan RPP.

c. Kegiatan Penutup

Kegiatan penutup terdiri atas:

- 1) Kegiatan guru bersama peserta didik yaitu: (a) membuat rangkuman/simpulan pelajaran; (b) melakukan refleksi terhadap



kegiatan yang sudah dilaksanakan; dan (c) memberikan umpan balik terhadap proses dan hasil pembelajaran; dan

- 2) Kegiatan guru yaitu: (a) melakukan penilaian; (b) merencanakan kegiatan tindak lanjut dalam bentuk pembelajaran remedi, program pengayaan, layanan konseling dan/atau memberikan tugas baik tugas individual maupun kelompok sesuai dengan hasil belajar peserta didik; dan (c) menyampaikan rencana pembelajaran pada pertemuan berikutnya.

RPP sebaiknya ditulis secara sistematis dalam bahasa yang singkat dan jelas serta dari segi estetika sebaiknya ada format atau layout yang baik dan mudah dibaca. Berikut ini disajikan salah satu alternatif/ccontoh RPP Mata pelajaran Fisika untuk Kelas X, XI dan XII.



Contoh RPP Fisika Kelas X

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

Nama Sekolah : SMA Puskurbuk
Mata Pelajaran : Fisika
Kelas/Semester : X/Satu
Materi Pokok : Elastisitas dan Hukum Hooke
Alokasi Waktu : 2 Pertemuan
Pertemuan Pertama 3 JP
Pertemuan Kedua 3 JP

A. Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
Siswa mampu: 3.2 Menganalisis sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari	1. Menganalisis sifat elastis bahan. 2. Menganalisis pengaruh gaya terhadap perubahan panjang pegas/karet.
4.2 Melakukan percobaan tentang sifat elastisitas suatu bahan berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya	1. Melakukan percobaan hukum Hooke. 2. Mengemukakan hasil percobaan hubungan gaya dan pertambahan panjang pada pegas.

B. Tujuan Pembelajaran

Setelah melaksanakan kegiatan pembelajaran, siswa diharapkan dapat:

1. menunjukkan rasa syukur terhadap Tuhan YME mengenai ciptaan Tuhan yang sempurna;
2. menunjukkan sikap kerja sama dan jujur dalam melakukan percobaan;
3. menunjukkan sikap rasa ingin tahu dan kritis dalam aktivitas sehari-hari;
4. menganalisis sifat elastisitas bahan
5. menganalisis pengaruh gaya terhadap perubahan panjang pegas/karet
6. melakukan percobaan hukum Hooke
7. mengemukakan hasil percobaan hubungan gaya dan pertambahan panjang pada pegas.

C. Materi Pembelajaran

Elastisitas dan Hukum Hooke:

1. Hukum Hooke
2. Susunan pegas seri-paralel



D. Metode Pembelajaran

1. Pendekatan : Pendekatan ilmiah (*scientific approach*)
2. Metode : Percobaan/eksperimen, diskusi, tanya jawab, dan ceramah.

E. Media Pembelajaran

1. Media Presentasi.
2. Alat dan Gambar Peraga.
3. Peralatan Praktikum.

F. Sumber Belajar :

1. Giancoli. 2001. *Fisika jilid 1,2 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
2. Halliday & Resnick. 1991. *Fisika 1,2 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
3. Kanginan, Marthen. 1996. *Fisika SMA*. Jakarta: Erlangga.
4. Internet.

G. Langkah-Langkah Kegiatan Pembelajaran

1. *Pertemuan Pertama 3 JP, 135 menit*

Pendahuluan (15 menit)

- 1) Guru mengkondisikan dan memotivasi siswa untuk belajar sifat elastis bahan dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.
- 2) Guru menjelaskan tujuan pembelajaran atau kompetensi dasar yang akan dicapai.
- 3) Guru menyampaikan cakupan materi yang akan dipelajari.
- 4) Guru memberikan beberapa contoh permasalahan dalam kehidupan sehari-hari terkait konsep elastisitas.
- 5) Guru menggali pengetahuan siswa tentang konsep elastisitas dengan mengajukan beberapa pertanyaan :
 - *Mengapa karet yang sudah ditarik dapat kembali ke bentuk semula?*
 - *Apa yang dimaksud dengan benda elastis? Apa saja contohnya?*

Kegiatan Inti (80 menit)

- 1) Siswa menyimak tentang uraian benda elastis pada contoh dalam kehidupan sehari-hari, seperti karet.
- 2) Siswa Menyimak penjelasan tentang tegangan dan persamaannya.
- 3) Siswa Memperhatikan penjelasan tentang regangan dan persamaannya.
- 4) Siswa Mengamati penjelasan tentang modulus elastis dan persamaannya serta menjelaskan grafik hubungan tegangan dan regangan sebuah batang logam yang diberi gaya.
- 5) Siswa mengajukan pertanyaan tentang benda-benda apa saja yang tidak



<p>memiliki sifat elastis.</p> <ol style="list-style-type: none">6) Siswa Menanyakan cara menentukan batas elastis dan plastis sebuah bahan.7) Siswa mengumpulkan informasi dari sumber lain tentang bahan yang tidak memiliki sifat elastis atau plastis.8) Siswa mengumpulkan informasi dari sumber lain tentang batas elastis dan batas plastis sebuah bahan dapat berupa grafik hubungan tegangan dan regangan atau tabel.9) Siswa merangkum tentang sifat-sifat elastis bahan, yaitu tegangan, regangan, dan modulus young.10) Siswa menyimpulkan hubungan tegangan dan regangan sebuah bahan.11) Siswa menyampaikan sifat-sifat elastis bahan, yaitu tegangan, regangan, dan modulus young.12) Siswa memaparkan hubungan tegangan dan regangan sebuah bahan di depan kelas13) Siswa mendiskusikan dan menyimpulkan sifat-sifat elastis bahan
<p>Penutup (40 menit)</p> <ol style="list-style-type: none">1) Siswa di bawah bimbingan guru membuat rangkuman tentang sifat-sifat elastis bahan, yaitu tegangan, regangan, dan Modulus Young.2) Guru membimbing siswa untuk melakukan refleksi dan menemukan nilai-nilai positif dari aktivitas hari ini.3) Guru memberikan tugas mandiri agar siswa menganalisis sifat elastisitas bahan.4) Guru menyampaikan rencana materi pembelajaran pada pertemuan selanjutnya.

2. *Pertemuan Kedua 3 JP, 135 menit*

<p>Pendahuluan (15 menit)</p> <ol style="list-style-type: none">1) Guru dan siswa mengucapkan salam dan berdoa bersama sebelum memulai aktivitas pembelajaran.2) Guru menjelaskan tujuan pembelajaran atau kompetensi dasar yang akan dicapai3) Guru menyampaikan cakupan materi yang akan dipelajari.4) Guru memberikan beberapa contoh permasalahan dalam kehidupan sehari-hari terkait dengan pegas.5) Guru menggali pengetahuan siswa tentang sifat elastis bahan yang telah dipelajari pada pertemuan sebelumnya (melihat hasil tugas mandiri siswa).
--



Kegiatan Inti (80 menit)

- 1) Guru meminta siswa untuk membaca buku/referensi tentang hukum Hooke.
- 2) Guru memberi kesempatan kepada siswa untuk mengajukan pertanyaan terkait hasil pengamatan tentang hukum Hooke.
- 3) Guru menampung pertanyaan siswa dan memberi kesempatan kepada tiap siswa untuk menjawab pertanyaan temannya.
- 4) Siswa secara berkelompok melakukan percobaan hukum Hooke.
- 5) Siswa berdiskusi dalam kelompok menyusun laporan hasil praktikum
- 6) Siswa mempresentasikan hasil kerja kelompok, kemudian ditanggapi oleh kelompok lain.
- 7) Guru melakukan klarifikasi dan penguatan terhadap konsepsi siswa tentang hukum Hooke yang terungkap selama proses pembelajaran.

Penutup (40 menit)

- 1) Siswa di bawah bimbingan guru membuat rangkuman tentang hukum Hooke.
- 2) Guru membimbing siswa untuk melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilaksanakannya.
- 3) Guru memberikan tugas mandiri berupa soal-soal kognitif agar siswa menganalisis gejala alam terkait hukum Hooke.
- 4) Guru menyampaikan rencana materi pembelajaran pada pertemuan selanjutnya.

H. Penilaian

1. Teknik dan Bentuk Instrumen

Teknik	Bentuk Instrumen
1. Pengamatan Sikap	1. Jurnal/Catatan guru
2. Tes Tertulis	2. Tes Uraian
3. Tes Kinerja	3. Rubrik



2. Lembar Pengamatan Sikap

Jurnal	
Nama Siswa	:
Nomor Induk Siswa	:
Tanggal	:
Aspek yang diamati:	:
Kejadian	:
Catatan Guru :	

3. Tes Uraian

Kerjakan soal-soal berikut ini dengan cermat!

- Sebuah pegas mengalami pertambahan panjang 2 cm, ketika ditarik dengan gaya 8 N
Tentukan,
 - konstanta pegas
 - simpangan pegas jika diberikan gaya 10 N
 - simpangan pegas jika digantung beban 2 Kg
 - frekuensi osilasi pegas ketika digantung dengan beban 400 g
- Empat pegas sejenis dengan konstanta 500 N/m disusun secara seri. Susunan pegas tersebut digantung benda bermassa 2 kg, hitunglah:
 - pertambahan panjang susunan pegas
 - pertambahan panjang masing-masing pegas.
- Berapa besar gaya yang menghasilkan pertambahan panjang 0,3 mm pada seutas kawat yang panjangnya 4 m, luas penampangnya $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, dan modulus Young baja $2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$?
- Sebuah karet yang panjangnya 40 cm diregangkan dengan gaya 0,2 N sehingga panjangnya menjadi 42 cm. Apabila karet tersebut diregangkan dengan gaya 0,5 N, hitunglah panjang karet tersebut!
- Dua pegas disusun secara seri dan digantungkan secara vertikal. Konstanta salah satu pegas adalah 750 N/m. Pada ujung bawah susunan pegas digantung beban 5 N sehingga terjadi pertambahan panjang total 2 cm, hitunglah:
 - konstanta pegas yang kedua
 - pertambahan panjang masing-masing pegas.



4. Instrumen Penilaian Produk

Mata Pelajaran : Fisika
Kelas/Semester : XI/Satu
Topik : Keseimbangan dan dinamika rotasi

No	Nama	Aspek Keterampilan							Skor	Nilai
		1	2	3	4	5	6	7		

Keterangan:

No	Aspek Keterampilan
1	Memilih dan menggunakan alat praktikum
2	Merangkai alat praktikum
3	Melakukan pengamatan dan pengukuran
4	Mencatat data hasil praktikum
5	Berpartisipasi dalam kelompok praktikum
6	Menyimpulkan hasil praktikum
7	Menganalisis data hasil praktikum

Mengetahui
Kepala Sekolah

(.....)
NIP.

Penyusun,
Guru Mata Pelajaran Fisika

(.....)
NIP.

....., 2016

Lampiran:

LKS Praktikum

Hukum Hooke

A. Tujuan

Menyelidiki hubungan antara gaya dan pertambahan panjang pegas.

B. Teori Singkat

Perhatikan seseorang yang menaruh batu kecil pada karet ketapel dan menarik karet tersebut sehingga bentuk karet berubah. Ketika orang tersebut melepaskan tarikannya, karet melontarkan batu ke depan dan karet ketapel segera kembali ke bentuk awalnya. Karet ketapel tersebut meregang akibat gaya tarik, besarnya regangan karet tergantung dari seberapa kuat gaya tariknya. Untuk mempelajari fenomena tersebut lakukanlah percobaan berikut.

C. Alat dan Bahan



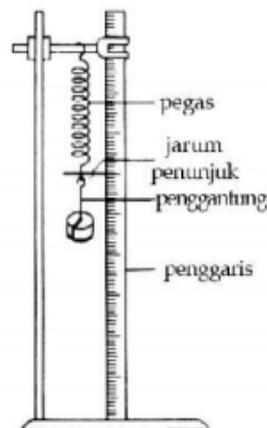
1. Alat

- dasar statif
- kaki statif
- batang statif panjang
- klem dan penjepit
- mistar
- pegas spiral
- beban

D. Prosedur Kerja

Merangkai alat

1. Susunlah alat seperti gambar berikut.



Kegiatan laboratorium

2. Bacalah panjang pegas (tanpa beban) L_0 pada skala mistar yang berimpit dengan ujung penunjuk.
3. Gantungkan sebuah keeping beban di ujung pegas, lalu bacalah panjang pegas berbeban L , pada skala mistar yang berimpit dengan jarum penunjuk. Catat juga massa beban pada ujung pegas.
4. Ulangi langkah 3 dengan 2 keeping, 3 keeping, 4 keeping beban, dan seterusnya.
5. Catat data pengamatan dalam tabel.
6. Hitunglah besar gaya tarik pada pegas dengan $F = mg$ dengan m adalah massa total beban pada ujung pegas. Tuliskan hasil perhitungan pada tabel.
7. Hitung pertambahan panjang pegas $\Delta x = L - L_0$. Tuliskan hasil pengamatan pada tabel.

E. Hasil Eksperimen Dan Analisis Data

1. Hasil Eksperimen



$L_0 = \dots m$

No	m Massa Beban (kg)	F = mg Gaya Tarik (N)	L Panjang Pegas (m)	ΔL Pertambahan Panjang Pegas (m)	F/ ΔL

2. Analisis Data

Buatlah grafik F vs ΔL



- Bagaimana bentuk grafik yang dihasilkan dan jelaskan grafik gaya terhadap pertambahan panjang pegas tersebut?
- Bagaimana hubungan gaya tarik dengan pertambahan panjang pegas? Jelaskan!

F. Kesimpulan

G. Penerapan Dalam Kehidupan Sehari-Hari



Contoh RPP

**RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN
(RPP)**

Nama Sekolah : SMA Puskurbuk
 Mata Pelajaran : Fisika
 Kelas/Semester : XII/Satu
 Materi Pokok : Induksi Elektromagnetik
 Alokasi Waktu : 4 Pertemuan
 Pertemuan Pertama 4 JP
 Pertemuan Kedua 4 JP
 Pertemuan Ketiga 4 JP
 Pertemuan Keempat 4 JP

A. Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
Siswa mampu: 1.4 Menganalisis fenomena induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari	1. Mendeskripsikan konsep induksi elektromagnetik dan potensial ggl berdasarkan percobaan induksi elektromagnetik 2. Mendeskripsikan faktor-faktor yang mempengaruhi besar ggl induksi berdasarkan percobaan induksi elektromagnetik 3. Menentukan/menghitung besar perubahan fluks magnetik 4. Menentukan arah arus induksi berdasarkan perubahan fluks magnetik 5. Menentukan/menghitung besar ggl induksi 6. Menentukan/menghitung besar induktansi diri 7. Menentukan/menghitung besar induktansi bersama 8. Menganalisis aplikasi induksi faraday dalam kehidupan sehari-hari 9. Menentukan/menghitung besar efisiensi transformator 10. Menentukan/menghitung energi yang tersimpan dalam induktor
1.4. Melakukan percobaan tentang induksi elektromagnetik berikut presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari	1. Menyusun laporan hasil percobaan induksi elektromagnetik 2. Membuat bahan presentasi visual dan atau powerpoint hasil percobaan induksi elektromagnetik 3. Mempresentasikan laporan percobaan induksi elektromagnetik di depan kelas 4. Merancang generator listrik sederhana 5. Membuat generator listrik sederhana dengan menggunakan prinsip induksi



elektromagnetik 6. Membuat laporan tugas proyek generator listrik sederhana
--

B. Tujuan Pembelajaran

Setelah melaksanakan kegiatan pembelajaran, siswa diharapkan dapat:

1. menghayati dan mensyukuri kebesaran Tuhan yang menciptakan keteraturan dan ketelitian dalam bentuk pengetahuan yang membahas konsep momen gaya dan momen inersia;
2. mengamalkan perilaku ilmiah, serta menghargai kerja individu dan kelompok dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi sikap dalam melakukan percobaan dan berdiskusi;
3. menjelaskan pengertian arus listrik, kuat arus listrik, sifat kelistrikan bahan, contoh sifat kelistrikan bahan melalui kegiatan diskusi dan tanya jawab;
4. mendeskripsikan konsep induksi elektromagnetik, potensial induksi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya berdasarkan percobaan induksi elektromagnetik;
5. Menentukan/menghitung besar perubahan fluks magnetik, arah dan besar potensial induksi melalui diskusi dan percobaan induksi elektromagnetik;
6. Menentukan/menghitung besar induktansi diri, induktansi bersama, energi dalam induktor dan efisiensi transformator dan aplikasi induksi faraday dalam kehidupan sehari-hari melalui diskusi;
7. Merancang dan membuat alat sederhana yang menggunakan prinsip Potensial induksi (hukum Faraday) dan mempresentasikan pembuatan alat sederhana yang menggunakan prinsip Potensial induksi (hukum Faraday) melalui kegiatan proyek.

C. Materi Pembelajaran

Induksi Elektromagnetik:

1. Potensial (GGL) induksi
2. Hukum Lenz
3. Induktansi diri
4. Terapan induksi elektromagnetik pada produk teknologi
5. Energi dan daya listrik:

D. Metode Pembelajaran

1. Pendekatan : Pendekatan ilmiah (*scientific approach*)
2. Metode : Percobaan/eksperimen, diskusi, tanya jawab, proyek dan ceramah.

E. Media Pembelajaran

1. Media Presentasi.
2. Alat dan Gambar Peraga aplikasi induksi elektromagnetik



3. Peralatan Praktikum.

F. Sumber Belajar

1. Giancoli. 2001. *Fisika jilid 1,2 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
2. Halliday & Resnick. 1991. *Fisika 1,2 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
3. Kanginan, Marthen. 1996. *Fisika SMA*. Jakarta: Erlangga.

G. Langkah-Langkah Kegiatan Pembelajaran

1. *Pertemuan Pertama 4 JP, 180 menit*

Pendahuluan (15 menit)

- Guru memberi salam dilanjutkan dengan menanyakan kabar siswa dan kesiapan belajar
- Guru memberikan apersepsi dan motivasi
- Guru mereview materi bab sebelumnya tentang gaya magnet, induksi magnet, dan fluks magnet
- Guru menampilkan video/animasi aplikasi induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari, misal dinamo sepeda, pembangkit listrik tenaga air, dst.



Kegiatan Inti (125 menit)

- 1) Guru memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengemukakan sebanyak mungkin pertanyaan yang berkaitan dengan fenomena yang diamatinya, contoh pertanyaan:
 - Mengapa lampu sepeda menyala?
 - Apakah sepeda menggunakan batere atau aki
 - Dari manakah sumber energi listrik yang digunakan oleh batere
 - Mengapa ketika sepedanya bergerak lebih cepat nyala lampu semakin terang dan sebaliknya?
 - Apakah jika sepeda diam lampu akan menyala?
 - Bagaimana dinamo sepeda dapat merubah energi gerak menjadi energi listrik?
 - Apa saja komponen dari dinamo sepeda?
 - Faktor-faktor apakah yang berperan besar dalam konversi energi dalam dinamo sepeda?
 - Apakah jika magnetnya diam lampu sepeda akan tetap menyala?
 - Apakah magnet dapat menyebabkan arus listrik?



	<ul style="list-style-type: none">▪ Mengapa magnet dapat menyebabkan timbulnya arus listrik?▪ Apakah magnet yang didiamkan dapat menimbulkan arus listrik? <ol style="list-style-type: none">2) Guru membagi siswa dalam kelompok3) Siswa mencari dan mengumpulkan berbagai literatur dan referensi yang mendukung pemecahan permasalahan yang mereka temukan berdasarkan pengamatan4) Siswa berdiskusi mengenai informasi dari berbagai sumber data yang didapatkan5) Siswa menganalisis informasi dari berbagai data yang terkumpulkan6) Peserta didik menyimak informasi kegiatan pembelajaran yang akan dilakukan untuk menjawab berbagai pertanyaan yang muncul berkaitan dengan pengamatan yang mereka lakukan7) Peserta didik dalam kelompok mengkaji LKS "Potensial Induksi"8) Peserta didik melakukan praktikum "Potensial Induksi" secara berkelompok dengan menggunakan LKS yang tersedia.9) Mencatat data pengamatan hasil percobaan pada kolom yang tersedia pada LKS.10) Diskusi kelompok mengolah data hasil percobaan dengan bantuan pertanyaan-pertanyaan pada LKS.11) Peserta didik mendiskusikan dan mengecek ulang data percobaan Potensial Induksi12) Peserta didik menganalisis kesesuaian antara informasi dari literatur dan referensi dengan hasil eksperimen yang diperoleh13) Peserta didik membuat laporan hasil percobaan14) Peserta didik dibimbing oleh guru untuk menyimpulkan hasil eksperimen ggl induksi15) Masing-masing kelompok secara bergiliran mempresentasikan hasil eksperimen secara runtut dan diikuti diskusi kelas dibimbing oleh guru, terutama berkaitan dengan konsep yang berkaitan dengan percobaan "Potensial Induksi", yaitu:<ul style="list-style-type: none">▪ Konsep Induksi Elektromagnetik▪ Hukum Faraday dan Hukum Lenz▪ Faktor-Faktor yang mempengaruhi besar Potensial induksi▪ Cara menimbulkan Potensial induksi
	<p>Penutup (40 menit)</p> <ol style="list-style-type: none">1) Siswa menyampaikan pendapat pribadinya, menganalisis dan membandingkan hasil eksperimen yang dilakukan kelompoknya dengan kelompok lainnya2) Peserta didik dan guru mereview hasil pembelajaran tentang Induksi Elektromagnetik3) Guru memberikan penghargaan kepada kelompok yang berkinerja baik4) Siswa menjawab kuis tentang induksi elektromagnetik5) Guru memberikan tugas kelompok untuk menyusun materi diskusi pada pertemuan selanjutnya



2. *Pertemuan Kedua 4 JP, 180 menit*

3. *Pertemuan Ketiga dan Keempat, @ 4 JP, 360 menit*

Pendahuluan (15 menit)

- 1) Guru memberi salam dilanjutkan dengan menanyakan kabar siswa dan kesiapan belajar
- 2) Guru memberikan apersepsi dan motivasi
- 3) Guru mereview materi pertemuan sebelumnya
- 4) Seberapa penting konsep induksi elektromagnetik untuk kehidupan kita?
- 5) Apa yang dialami manusia ketika tidak ada teknologi yang menggunakan induksi elektromagnetik?
- 6) Guru menampilkan beberapa produk teknologi yang menggunakan konsep induksi elektromagnetik, misal PLTA, Transmisi energi listrik
- 7) Pentingnya energi listrik bagi kehidupan manusia
- 8) Pentingnya generator listrik untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik manusia

Kegiatan Inti (125 menit)

- 1) Bagaimana prinsip kerja generator listrik?
- 2) Komponen-komponen apa saja yang terdapat dalam generator listrik?
- 3) Bagaimana kita membuat generatot listrik?
- 4) Bagaimana kita membuat generatot listrik sederhana (model generator listrik)?
- 5) Guru mengarahkan peserta didik berdiskusi merencanakan sebuah proyek membuat generator listrik sederhana
- 6) Guru memberikan penjelasan/aturan main berkaitan dengan proyek "generator listrik sederhana", misal dilakukan secara berkelompok, waktu pengerjaannya dan penyelesaian proyek serta jenis-jenis penilaian yang akan dilakukan.
- 7) Peserta didik mengumpulkan informasi mengenai komponen-komponen dan prinsip kerja sebuah generator listrik
- 8) Peserta didik membuat rancangan proyek pembuatan generator listrik sederhana secara kolaboratif dengan guru
- 9) Peserta membuat strategi penyelesaian proyek "Generator Listrik Sederhana", misalnya:
 - Penentuan ketua kelompok
 - Tempat pengerjaan proyek
 - Waktu pengerjaan perancangan
 - Komponen/bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat generator sederhana
- 10) Guru memberikan masukan kepada peserta didik terhadap rancangan proyek
- 11) Peserta didik secara berkelompok menyusun jadwal penyelesaian proyek
- 12) Peserta didik melaporkan hasil rancangan generator listrik sederhana dan jadwal proyek di depan kelas



- 13) Selama penyelesaian proyek, guru memonitor aktivitas yang penting dari peserta didik, misal:
 - waktu dan tempat pengerjaan proyek
 - menanyakan kesulitan yang mereka temui pada saat pembuatan proyek generator listrik sederhana
- 14) Peserta didik mempresentasikan hasil proyek pembuatan generator listrik sederhana di depan kelas
 - menyampaikan desain/rancangan “generator listrik sederhana”
 - menyampaikan pelik-pelik pembuatan generator sederhana
 - menguji keberfungsian “generator sederhana” yang telah mereka buat
- 15) Peserta didik menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diberikan guru dan rekan peserta didik lainnya berkaitan dengan generator listrik sederhana yang telah mereka buat
- 16) Guru menilai laporan rancangan generator listrik sederhana, laporan hasil pembuatan generator listrik sederhana sesuai rancangan
- 17) Guru memberikan saran-saran untuk perbaikan pembuatan generator listrik sederhana.

Penutup (40 menit)

- 1) Peserta didik diminta untuk mengungkapkan pengalamannya selama menyelesaikan proyek generator listrik sederhana.
- 2) Pada akhir proses pembelajaran, guru dan peserta didik melakukan refleksi terhadap aktivitas selama merancang dan membuat generator listrik sederhana.
- 3) Guru dan peserta didik mengembangkan diskusi untuk memperbaiki kinerja selama pembuatan generator listrik sederhana dan proses pembelajaran, sehingga pada akhirnya ditemukan suatu temuan baru menjawab pertanyaan yang diajukan pada tahap awal pembelajaran.

H. Penilaian

1. Teknik dan Bentuk Instrumen

Teknik	Bentuk Instrumen
1. Pengamatan Sikap	1. Jurnal/Catatan guru
2. Tes Tertulis	2. Tes Pilihan Komplek
3. Tes Kinerja	3. Lembar Pengamatan

2. Lembar Pengamatan Sikap

Jurnal	
Nama Siswa	:
Nomor Induk Siswa	:
Tanggal	:
Aspek yang diamati:	:
Kejadian	:
Catatan Guru :	



3. Tes Uraian

Kerjakan soal-soal berikut ini dengan cermat!

1. Ketika magnet batang digerakkan memasuki kumparan, jarum Galvanometer menyimpang searah jarum jam. Jika magnet batang dидiamkan sejenak di dalam kumparan, maka jarum galvanometer akan
 - a. terus menyimpang searah jarum jam
 - b. kembali menunjuk nol dan selanjutnya diam
 - c. disimpangkan berlawanan arah jarum jam
 - d. kembali menunjuk nol dan selanjutnya menyimpang kembali searah jarum.
 - e. berosilasi searah dan berlawanan jarum jam.
2. Arah arus induksi dalam suatu penghantar sedemikian rupa sehingga menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan fluks magnetic yang menimbulkannya. Pernyataan ini merupakan hukum
 - a. Faraday
 - b. Ampere
 - c. Biot-Savart
 - d. Lenz
 - e. Maxwell
3. Sebuah penghantar yang digerakkan dalam medan magnetik akan menghasilkan beda potensial pada ujung-ujung penghantar yang dinamakan ...
 - a. tegangan jepit
 - b. potensial induksi
 - c. induksi elektromagnetik
 - d. fluks magnetik
 - e. kuat medan magnetik
4. Menaikkan ggl maksimum suatu generator AC agar menjadi 4 kali semula, dapat dilakukan dengan cara ...
 - a. jumlah lilitan dilipatgandakan dan periode putar menjadi 1/2 kali semula
 - b. kecepatan sudut dan luas penampang kumparan dijadikan 1/2 kalinya
 - c. induksi magnet dan jumlah lilitan dijadikan 4 kali semula
 - d. luas penampang dan periode putar dijadikan 2 kali semula
 - e. luas penampang dan periode putar dijadikan 1/2 kali semula
5. Sebuah bidang seluas 40 cm^2 berada dalam daerah medan magnetik homogen dengan induksi magnetik $8 \times 10^{-4} \text{ T}$. Jika sudut antara arah normal bidang dengan medan magnetik adalah 60° , maka besar fluks magnetiknya adalah ...
 - a. $32 \times 10^{-7} \text{ Wb}$
 - b. $16 \times 10^{-7} \text{ Wb}$
 - c. $6,4 \times 10^{-7} \text{ Wb}$
 - d. $3,2 \times 10^{-7} \text{ Wb}$
 - e. $1,6 \times 10^{-7} \text{ Wb}$
6. Sebuah kumparan mempunyai induktansi diri 0,8 H. Jika dalam setengah sekon kuat arusnya berubah dari 40 mA menjadi 10 mA, tentukan ggl induksi diri kumparan



tersebut!

- A. $48 \times 10^{-3} \text{ V}$
 - B. $4,8 \times 10^{-3} \text{ V}$
 - C. 4,8 V
 - D. 2,4 V
 - E. $2,4 \times 10^{-3} \text{ V}$
7. Bila sebuah generator berputar 1.500 putaran/menit untuk membangkitkan arus 100 V, maka besarnya kecepatan sudut untuk membangkitkan 120 V sebesar ...
- a. 1.200 putaran/menit
 - b. 1.500 putaran/menit
 - c. 1.800 putaran/menit
 - d. 2.100 putaran/menit
 - e. 2.400 putaran/menit
8. Kawat a - b dengan panjang 1,5 m diletakkan dalam medan magnet 0,5 T dengan arah masuk bidang kertas. Ternyata di ujung-ujung kawat timbul beda potensial 3 volt dengan potensial a lebih tinggi daripada b. Besar dan arah kecepatan gerak kawat a - b adalah....
- a. 4 m/s ke kanan
 - b. 4 m/s ke kiri
 - c. 2 m/s ke kiri
 - d. 2 m/s ke kanan
 - e. 1 m/s ke kanan

4. Instrumen Penilaian Produk

Mata Pelajaran : Fisika
Kelas/Semester : XII/Satu
Topik : Induksi Elektromagnetik

No	Nama	Aspek Keterampilan							Skor	Nilai
		1	2	3	4	5	6	7		



Keterangan:

No	Aspek Keterampilan
1	Memilih dan menggunakan alat praktikum
2	Merangkai alat praktikum
3	Melakukan pengamatan dan pengukuran
4	Mencatat data hasil praktikum
5	Berpartisipasi dalam kelompok praktikum
6	Menyimpulkan hasil praktikum
7	Menganalisis data hasil praktikum

Mengetahui
Kepala Sekolah

(.....)
NIP.

....., 2016
Penyusun,
Guru Mata Pelajaran Fisika

(.....)
NIP.

Lampiran :

LKS Praktikum

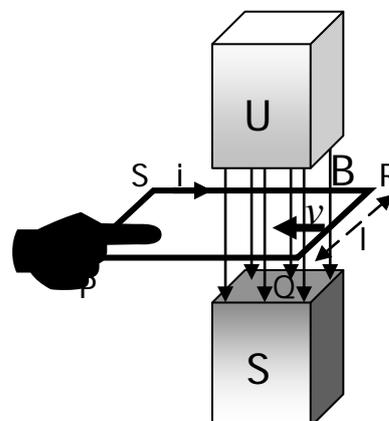
POTENSIAL INDUKSI DIRI (GGL IMBAS)

1. Tujuan

- Menyelidiki atau mempelajari peristiwa potensial induksi diri atau potensial imbas
- Menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya potensial induksi diri tau potensial imbas

2. Teori Singkat

Jika kawat PQRS tersebut kita geser ke kiri dengan kecepatan v , maka pada kawat akan mengalir arus listrik sebesar i yang arahnya SRQPS.





Besarnya GGL induksi yang dihasilkan adalah sebesar:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} = -B l v \quad (2)$$

Keterangan :

- B : Kuat Medan Magnetik (Wb/m^2 atau Tesla, disingkat T)
- v : Kecepatan penghantar (m/s)
- l : Panjang penghantar (m)
- ε : GGL induksi (volt, disingkat V)

Jika pada kawat penghantar tersebut dirangkaikan sebuah hambatan sebesar R, maka besarnya arus listrik induksi dirumuskan :

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{B l v}{R} \quad (3)$$

Dari persamaan diatas, Faraday menyatakan bahwa *besarnya ggl induksi yang terjadi dalam rangkaian adalah sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupinya dan jumlah lilitan kumparan*. Pernyataan ini dikenal dengan **Hukum Faraday**.

Tanda negatif menunjukkan bahwa *arah arus listrik induksi selalu menentang penyebabnya*. Pernyataan ini dikenal sebagai **Hukum Lenz**.

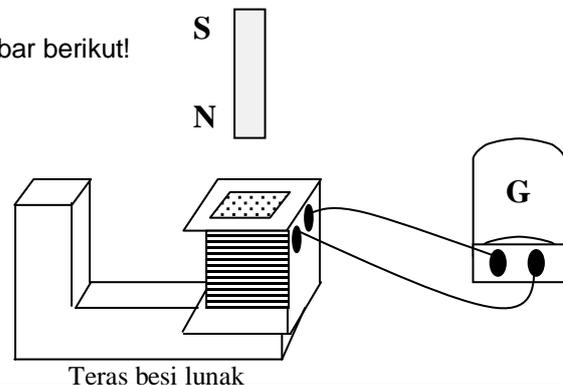
3. Alat dan Bahan

- Kumparan 300 lilitan = 1 buah
- Kumparan 600 lilitan = 1 buah
- Kumparan 1200 lilitan = 1 buah
- Kumparan 12000 lilitan = 1 buah
- Teras besi lunak untuk transformator = 1 buah
- Galvanometer/voltmeter = 1 buah
- Magnet batang ukuran kecil = 1 buah
- Magnet batang ukuran besar = 1 buah
- Kabel penghubung = secukupnya

4. Prosedur Kerja

Merangkai Alat

- a. Rakitlah alat dan bahan seperti pada gambar berikut!





Kegiatan laboratorium

- b. Letakkan sebuah magnet batang dekat di atas kumparan dalam keadaan diam, amatilah dan catat kedudukan galvanometer/voltmeter serta ulangi dengan kutub magnet yang berbeda!
- c. Gerakkan magnet batang perlahan-lahan menjauh kumparan, amatilah dan catat yang terjadi pada galvanometer!
- d. Ulangi percobaan pada no.3 dengan menggerakkan magnet batang berturut-turut menjauhi dan mendekati kumparan secara lambat, serta amati dan catat kedudukan jarum galvanometer!
- e. Ulangi percobaan pada no.4 dengan menggerakkan magnet batang berturut-turut menjauhi dan mendekati kumparan secara cepat, serta amati dan catat kedudukan jarum galvanometer!
- f. Lakukan percobaan berikutnya dengan variasi kumparan, variasi kekuatan magnet, variasi kutub magnet dan variasi kecepatan gerakan magnet dan catat hasil pengamatanmu pada tabel pengamatan!

5. Hasil Eksperimen dan Analisis Data

a. Magnet Batang ukuran Besar

Kutub Magnet	Gerakan Magnet	Kumparan (lilitan)			
		300	600	1200	12000
U	cepat				
	lambat				
	diam				
S	cepat				
	lambat				
	diam				

b. Magnet Batang ukuran Kecil

Kutub Magnet	Gerakan Magnet	Kumparan (lilitan)			
		300	600	1200	12000
U	cepat				
	Lambat				
	Diam				
S	cepat				
	Lambat				
	Diam				

c. Analisis Data

- 1) Bagaimana arah jarum Galvanometer, saat magnet batang digerakan keluar - masuk?
- 2) Bagaimana arah jarum Galvanometer, saat magnet diam didalam kumparan?
- 3) Bagaimana pengaruh gerak magnet (cepat/lambat) terhadap besar simpangan jarum Galvanometer?
- 4) Bagaimana pengaruh kekuatan magnet (besar/kecil) terhadap besar simpangan jarum Galvanometer?
- 5) Bagaimana pengaruh kutub magnet (U/S) terhadap besar simpangan jarum Galvanometer?
- 6) Mengapa saat magnet digerakan keluar – masuk kumparan jarum Galvanometer bergerak sedangkan ketika magnet diam di dalam kumparan maupun di luar



kumparan jarum Galvanometer tidak bergerak?

- 7) Bagaimana pengaruh banyak lilitan terhadap besar ggl induksi?
- 8) Bagaimana pengaruh kecepatan gerak magnet terhadap ggl induksi?
- 9) Bagaimana pengaruh kekuatan magnet terhadap ggl induksi?
- 10) Apa yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan di atas?

6. Kesimpulan

7. Penerapan Dalam Kehidupan Sehari-Hari

D. Aktivitas Pembelajaran

Setelah mengkaji materi tentang prinsip-prinsip pengembangan RPP secara mandiri, Anda dapat mendiskusikan dan mencoba dengan cermat mengembangkan komponen RPP untuk satu topik pembelajaran Fisika. Anda dapat mencobanya mulai mengidentifikasi kompetensi dasar yang sepadan/ sesuai untuk topik fisika yang dipilih. Mengidentifikasi indikator pencapaian kompetensi aspek pengetahuan, keterampilan atau sikap. Selain itu Anda dapat menyusun bahan ajar Fisika sesuai dengan indikator pada RPP yang Anda buat.

Lembar Kerja I1.01

KAJIAN TOPIK PENGEMBANGAN PERENCANAAN PEMBELAJARAN

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta diklat mampu mengidentifikasi konsep-konsep penting topik Pengembangan Perencanaan Pembelajaran dalam bentuk peta pikiran

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang model Pengembangan Perencanaan Pembelajaran
Identifikasi konsep-konsep penting yang ada pada topik Pengembangan Perencanaan Pembelajaran dan gambarkan dalam peta pikiran
2. Setelah selesai, presentasikan hasil diskusi kelompok Anda!
3. Perbaiki hasil kerja kelompok Anda jika ada masukan dari kelompok lain!



Lembar Kerja I1.02

Prinsip-prinsip Pengembangan RPP dan Komponen RPP

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta diharapkan dapat memahami prinsip-prinsip pengembangan RPP dan mengembangkan komponen RPP sesuai dengan prinsip-prinsip pengembangan

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari prinsip-prinsip penyusunan RPP!
2. Siapkan dokumen kurikulum Permendikbud No. 22, No. 23 dan No. 24 tahun 2016
3. Diskusikan prinsip-prinsip pengembangan RPP dan komponen RPP, tuliskan hasil diskusi Anda dalam bentuk laporan
4. Presentasikan hasil kerja kelompok Anda!
5. Perbaiki hasil kerja kelompok Anda jika ada masukan dari kelompok lain!

Lembar Kerja I1.03

PENYUSUNAN DAN PENELAAHAN RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta mampu menyusun RPP yang menerapkan pendekatan saintifik sesuai model belajar yang relevan dan menelaah RPP untuk perbaikan

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari prinsip-prinsip penyusunan RPP!
2. Siapkan dokumen kurikulum Permedikbud Nomor 22 tahun 2016, hasil kegiatan Model pembelajaran dan Perancangan Instrumen Penilaian
3. Susunlah RPP sesuai dengan prinsip-prinsip pengembangannya, komponen-sistematika RPP*) dan format RPP**) yang tersedia!
4. Setelah selesai, telaah kembali RPP yang disusun menggunakan format telaah RPP untuk kesempurnaan RPP yang kelompok Anda susun!
5. Presentasikan hasil kerja kelompok Anda!
6. Perbaiki hasil kerja kelompok Anda jika ada masukan dari kelompok lain!

Catatan:

*) *komponen-sistematika RPP yang ada di dalam modul sesuai dengan Permendikbud nomor 22 tahun 2016*

**) *format RPP dikembangkan sesuai sistematika RPP pada Permendikbud, layout tidak harus sama tetapi diharapkan disusun dengan rapih, sistematis dengan kalimat yang singkat, jelas dan mudah difahami.*



Format Penelaahan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran

Materi Pelajaran: _____

Topik/Tema: _____

Berilah tanda cek (V) pada kolom skor (1, 2, 3) sesuai dengan kriteria yang tertera pada kolom tersebut! Berikan catatan atau saran untuk perbaikan RPP sesuai penilaian Anda!

No	Komponen Rencana Pelaksanaan Pembelajaran	Hasil Penelaahan dan Skor			Ket
		1	2	3	
A.	Identitas Mata Pelajaran	Tidak Ada	Kurang Lengkap	Sudah Lengkap	
1.	Satuan pendidikan, Mata pelajaran/tema, kelas/ semester dan Alokasi waktu.				
B.	Pemilihan Kompetensi	Tidak Ada	Kurang Lengkap	Sudah Lengkap	
1.	Kompetensi Inti				
2.	Kompetensi Dasar				
C.	Perumusan Indikator	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Kesesuaian dengan KD.				
2.	Kesesuaian penggunaan kata kerja operasional dengan kompetensi yang diukur.				
3.	Kesesuaian dengan aspek sikap, pengetahuan, dan keterampilan.				
D.	Pemilihan Materi Pembelajaran	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Kesesuaian dengan KD				
2.	Kesesuaian dengan karakteristik peserta didik.				
3.	Kesesuaian dengan alokasi waktu.				
E.	Kegiatan Pembelajaran	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Menampilkan kegiatan pendahuluan, inti, dan penutup dengan jelas.				
2.	Kesesuaian kegiatan dengan pendekatan saintifik.				
3.	Kesesuaian dengan sintak model pembelajaran yang dipilih				
4.	Kesesuaian penyajian dengan sistematika materi.				
5.	Kesesuaian alokasi waktu dengan cakupan materi.				
F.	Penilaian	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Kesesuaian dengan teknik penilaian autentik.				
2.	Kesesuaian dengan instrumen penilaian autentik				
3.	Kesesuaian soal dengan indikator pencapaian kompetensi.				
4.	Kesesuaian kunci jawaban dengan soal.				
5.	Kesesuaian pedoman penskoran dengan soal.				
G.	Pemilihan Media Belajar	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Kesesuaian dengan materi pembelajaran				
2.	Kesesuaian dengan kegiatan pada pendekatan saintifik.				



No	Komponen Rencana Pelaksanaan Pembelajaran	Hasil Penelaahan dan Skor			Ket
		1	2	3	
3.	Kesesuaian dengan karakteristik peserta didik.				
H.	Pemilihan Bahan Pembelajaran	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Kesesuaian dengan materi pembelajaran				
2.	Kesesuaian dengan kegiatan pada pendekatan saintifik.				
I.	Pemilihan Sumber Pembelajaran	Tidak Sesuai	Sesuai Sebagian	Sesuai Seluruhnya	
1.	Kesesuaian dengan materi pembelajaran				
2.	Kesesuaian dengan kegiatan pada pendekatan saintifik.				
3.	Kesesuaian dengan karakteristik peserta didik.				
Jumlah					

E. Latihan/Kasus/Tugas

Setelah mempelajari materi Pengembangan Perencanaan Pembelajaran, silahkan Anda mencoba mengerjakan Tugas berikut, kaji secara mandiri selanjutnya diskusikan dalam kelompok. Kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan, berlatih mengisi format penelaahan RPP yang telah dikembangkan dengan rekan sejawat dan sebaiknya perwakilan peserta mempresentasikan hasil kerjanya, peserta lain menyimak presentasi dengan cermat dan serius sebagai penghargaan kepada pembicara.

Latihan Soal

1. Berikut ini adalah KD mata pelajaran Fisika SMA Kelas XII
 - 3.1 Menganalisis prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) berikut keselamatannya dalam kehidupan sehari-hari
 - 4.1 Melakukan percobaan prinsip kerja rangkaian listrik searah (DC) dengan metode ilmiah berikut presentasi hasil percobaan

Seorang guru membuat tujuan pembelajaran berdasarkan KD tersebut.

Tujuan pembelajaran yang paling tepat adalah...

- A. melalui pengamatan demonstrasi guru siswa dapat menjelaskan prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) dengan tepat
- B. melalui kegiatan praktikum siswa dapat menjelaskan prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) dengan tepat



- C. melalui diskusi kelompok siswa dapat menjelaskan prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) dengan tepat
- D. melalui pengamatan video siswa dapat menjelaskan prinsip kerja peralatan listrik searah (DC) dengan tepat
2. Dalam penyusunan RPP, prinsip yang harus diperhatikan adalah **kecuali...**
- A. mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan
- B. partisipasi aktif peserta didik
- C. budaya membaca dan menulis
- D. keterpaduan antara KD, IPK, dan penilaian
3. Pada mata pelajaran Fisika di kelas X terdapat KD sebagai berikut.
- 3.6 Menganalisis sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari
- 4.6 Mengolah dan menganalisis hasil percobaan tentang sifat elastisitas suatu bahan
- Pada awal pembelajaran guru merancang suatu kegiatan pembelajaran agar peserta didik mudah memahami materi pembelajaran yang bersesuaian dengan pencapaian KD tersebut, kegiatan pembelajaran yang sesuai dengan KD tersebut adalah....
- A. melakukan tanya jawab tentang hukum Hooke dan menjelaskan sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari
- B. mengamati gambar dan menjelaskan karakteristik benda-benda elastis yang sering mereka temui dalam kehidupan sehari-hari
- C. melakukan peragaan benda elastis, benda plastis dan pengaruh gaya terhadap perubahan panjang benda-benda elastis
- D. melakukan percobaan hukum Hooke dengan menggunakan pegas/karet, mistar, beban gantung, dan statif secara berkelompok
4. Perhatikan rumusan KD berikut.
- 4.4 Membuat dan menguji proyek sederhana yang menerapkan prinsip dinamika fluida
- Kegiatan pembelajaran yang sesuai dengan KD tersebut adalah
- A. mengamati informasi dari berbagai sumber tentang persamaan kontinuitas dan hukum Bernoulli



- B. mengeksplorasi kaitan antara kecepatan aliran dengan luas penampang
 - C. membuat ilustrasi tiruan aplikasi Azas Bernoulli (alat venturi, kebocoran air, atau sayap pesawat) secara berkelompok
 - D. membuat laporan dan mempresentasikan hasil produk tiruan aplikasi azas Bernoulli
5. Perhatikan rumusan KD berikut.
- 4.11 membuat karya yang menerapkan prinsip pemantulan dan/atau pembiasan pada cermin dan lensa
- Kegiatan pembelajaran yang sesuai dengan KD tersebut adalah
- A. membuat teropong sederhana secara berkelompok
 - B. mengamati gambar/video/animasi penggunaan alat optik
 - C. menganalisis tentang prinsip pembentukan bayangan oleh alat optik
 - D. presentasi kelompok tentang hasil merancang dan membuat teropong sederhana

F. Rangkuman

Pada Permendikbud nomor 22 tahun 2016 dinyatakan bahwa RPP merupakan rencana pembelajaran yang dikembangkan secara rinci mengacu pada silabus, buku teks pelajaran, dan buku panduan guru. RPP mencakup:

- a. identitas sekolah yaitu nama satuan pendidikan;
- b. identitas mata pelajaran atau tema/subtema;
- c. kelas/semester;
- d. materi pokok;
- e. alokasi waktu ditentukan sesuai dengan keperluan untuk pencapaian KD dan beban belajar dengan mempertimbangkan jumlah jam pelajaran yang tersedia dalam silabus dan KD yang harus dicapai;
- f. tujuan pembelajaran yang dirumuskan berdasarkan KD, dengan menggunakan kata kerja operasional yang dapat diamati dan diukur, yang mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan;
- g. kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi;
- h. materi pembelajaran, memuat fakta, konsep, prinsip, dan prosedur yang relevan, dan ditulis dalam bentuk butir-butir sesuai dengan rumusan indikator ketercapaian kompetensi;



- i. metode pembelajaran, digunakan oleh pendidik untuk mewujudkan suasana belajar dan proses pembelajaran agar peserta didik mencapai KD yang disesuaikan dengan karakteristik peserta didik dan KD yang akan dicapai;
- j. media pembelajaran, berupa alat bantu proses pembelajaran untuk menyampaikan materi pelajaran;
- k. sumber belajar, dapat berupa buku, media cetak dan elektronik, alam sekitar, atau sumber belajar lain yang relevan;
- l. langkah-langkah pembelajaran dilakukan melalui tahapan pendahuluan, inti, dan penutup; dan
- m. penilaian hasil pembelajaran

Pengembangan RPP dilakukan sebelum awal semester atau awal tahun pelajaran dimulai, namun perlu diperbaharui sebelum pembelajaran dilaksanakan. RPP disusun dengan memperhatikan keterkaitan dan keterpaduan antara KI, KD, indikator pencapaian kompetensi, materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran, penilaian, dan sumber belajar dalam satu keutuhan pengalaman belajar. RPP disusun dengan mengakomodasikan pembelajaran tematik, keterpaduan lintas mata pelajaran, lintas aspek belajar, dan keragaman budaya.

Komponen dan sistematika RPP selalu berkembang dan berubah-ubah sesuai kebijakan yang berlaku, tetapi prinsip-prinsip penembangannya tidak terlalu berbeda.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan latihan/tugas, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dalam prinsip-prinsip pengembangan RPP dan mampu mengembangkan komponen RPP mulai dari mengidentifikasi kompetensi dasar pengetahuan, sikap dan keterampilan, mengembangkan indikator pencapaian kompetensi dan menentukan bahan ajar sesuai prinsip pengembangan RPP sesuai dengan kurikulum. Jika Anda menganggap pencapaian Anda masih belum memadai, sebaiknya Anda ulangi kembali kegiatan pembelajaran ini dengan lebih cermat, kreatif, disiplin dan jika memungkinkan diskusikan dengan rekan sejawat.

KUNCI JAWABAN/RAMBU-RAMBU JAWABAN TUGAS

RAMBU-RAMBU

No 1. Untuk menghasilkan tugas analisis yang baik, pelajari contoh pada modul dan buku Fisika untuk menganalisis materi Fisikanya serta pelajari juga rubrik berikut.

Rubrik Analisis keterkaitan KI dan KD dengan Indikator Pencapaian Kompetensi dan Materi Pembelajaran

PERINGKAT	NILAI	KRITERIA
Amat Baik (A)	$90 < A \leq 100$	1. Identitas: Mata pelajaran, kelas, semester lengkap dan benar 2. KI dan KD lengkap dan keterkaitannya benar 3. Perumusan indikator sesuai dengan KI dan kD 4. Identifikasi topik/subtopik tepat
Baik (B)	$80 < B \leq 90$	Ada 3 aspek sesuai dengan kriteria, 1 aspek kurang sesuai
Cukup (C)	$70 < C \leq 80$	Ada 2 aspek sesuai dengan kriteria, 2 aspek kurang sesuai
Kurang (K)	≤ 70	Ada 1 aspek sesuai dengan kriteria, 3 aspek kurang sesuai

No 2. Untuk menghasilkan tugas pembuatan RPP, pelajari contoh pada modul dan pelajaran buku Fisika untuk pemilihan materi ajar. Pelajari juga rubrik berikut.

Rubrik Penilaian Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP)

1. Berikan nilai setiap komponen RPP dengan cara membubuhkan tanda cek (√) pada kolom pilihan skor (1), (2) dan (3) sesuai dengan penilaian Anda terhadap RPP tersebut!
2. Setelah selesai penilaian, jumlahkan skor seluruh komponen!
3. Tentukan nilai RPP menggunakan rumus sbb:



$$\text{Nilai} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{81} \times 100\%$$

PERINGKAT	NILAI
Amat Baik (A)	$90 \leq A \leq 100$
Baik (B)	$75 \leq B < 90$
Cukup (C)	$60 \leq C < 74$
Kurang (K)	< 60

EVALUASI

1. Dalam kegiatan pembelajaran peserta didik melakukan interpretasi data yang diperoleh dari hasil praktikum Fisika yang dilakukan kelompoknya. Kegiatan pembelajaran tersebut menggunakan prinsip pembelajaran....
 - A. peserta didik difasilitasi untuk mencari tahu
 - B. peserta didik belajar dari berbagai sumber belajar
 - C. proses pembelajaran menggunakan pendekatan ilmiah
 - D. pembelajaran berbasis keterampilan aplikatif
2. Berikut ini adalah KD mata pelajaran Fisika SMA kelas X
 - 3.4 Menganalisis hubungan antara gaya, massa, dan gerakan benda pada gerak lurus
 - 4.4 Merencanakan dan melaksanakan percobaan untuk menyelidiki hubungan gaya, massa, dan percepatan dalam gerak lurusSeorang guru membuat tujuan pembelajaran berdasarkan KD tersebut. Tujuan pembelajaran yang paling tepat adalah....
 - A. melalui diskusi peserta didik dapat menganalisis data percobaan penyebab benda bergerak dipercepat secara tepat
 - B. peserta didik terampil menganalisis data percobaan Hukum Newton dan mempresentasikannya
 - C. peserta didik dapat menentukan pengaruh gaya terhadap gerak benda secara tepat melalui diskusi data hasil percobaan
 - D. peserta didik dapat menjelaskan pengaruh gaya terhadap gerak berdasarkan hukum newton
3. Pada mata pelajaran Fisika di kelas X terdapat KD sebagai berikut.
 - 3.6 Menganalisis sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari hari
 - 4.6 Mengolah dan menganalisis hasil percobaan tentang sifat elastisitas suatu bahan

Pada awal pembelajaran guru merancang suatu kegiatan pembelajaran agar peserta didik mudah memahami materi pembelajaran yang bersesuaian



- dengan pencapaian KD tersebut, kegiatan pembelajaran yang sesuai dengan KD tersebut adalah....
- A. melakukan tanya jawab tentang hukum Hooke dan menjelaskan sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari-hari
 - B. melakukan percobaan hukum Hooke dengan menggunakan pegas/karet, mistar, beban gantung, dan statif secara berkelompok
 - C. mengamati gambar dan menjelaskan karakteristik benda-benda elastis yang sering mereka temui dalam kehidupan sehari-hari
 - D. melakukan peragaan benda elastis, benda plastis dan pengaruh gaya terhadap perubahan panjang benda-benda elastis
4. Pada RPP guru terdapat aktivitas mengamati peragaan benda dilepas dari ketinggian tertentu dan jatuh bebas. Aktivitas tersebut merupakan bagian dari aktivitas pembelajaran untuk KD....
- A. menyajikan hasil pengukuran besaran fisis dengan menggunakan peralatan dan teknik yang tepat untuk penyelidikan ilmiah
 - B. menganalisis hubungan antara gaya, massa, dan gerakan benda pada gerak lurus
 - C. menganalisis besaran-besaran fisis pada gerak lurus dengan kecepatan konstan dan gerak lurus dengan percepatan konstan
 - D. menyajikan data dan grafik hasil percobaan untuk menyelidiki sifat gerak benda yang bergerak lurus dengan kecepatan konstan dan gerak lurus dengan percepatan konstan
5. Salah satu topik pada pembelajaran Fisika SMA Kelas X dengan dengan KD “Menganalisis besaran fisis pada gerak melingkar dengan laju konstan dan penerapannya dalam teknologi” adalah penerapan konsep gerak melingkar dalam teknologi. Berikut ini contoh inovasi dalam pembelajaran yang terkait dengan materi tersebut, *kecuali*....
- A. peserta didik diminta mencari contoh penerapan konsep gerak melingkar dalam teknologi dan menyajikan ide/gagasan penerapannya
 - B. peserta didik diminta membuat alat sederhana yang menerapkan konsep gerak melingkar
 - C. peserta didik menerima informasi tentang contoh penerapan konsep gerak melingkar dalam teknologi beserta ide/gagasan penerapannya
 - D. peserta didik secara berkelompok melakukan percobaan untuk menyelidiki gerak yang menggunakan hubungan roda-roda



6. Sesuai Permendikbud tentang Standar Proses dan Standar Implementasi Pembelajaran, peserta didik harus memiliki pengalaman belajar yang sesuai dengan pendekatan saintifik. Pengalaman belajar yang dimaksud adalah meliputi kegiatan....
- A. mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasikan, mengomunikasikan
 - B. mengingat, memahami, menerapkan, menganalisis, mengevaluasi, mengomunikasikan
 - C. mengamati, menanya, mengolah informasi, menerapkan, menyaji , mencipta
 - D. menerima, menjalankan, menghargai, menghayati, mengamalkan

7. Berikut ini cuplikan kalimat pada RPP seorang guru Fisika untuk KD 3.6 *Menganalisis sifat elastisitas bahan dalam kehidupan sehari hari,*

Pada kegiatan pendahuluan :

Penjelasan kaitan elastisitas dengan hukum Newton (KD sebelumnya) dan gerak getaran (KD yang akan datang)

Pada kegiatan Inti

...

Peserta didik dalam kelompok diminta untuk menarik dua karet berbeda jenis, kemudian membandingkan kekuatannya, mana yang lebih kuat, mencermati demonstrasi percobaan, mencatat hasil bacaan panjang pegas/karet awal, penambahan panjang, dan skala pegas, dan menyimpulkan hubungan antara perubahan panjang dengan besar gaya (skala pegas)

...

Prinsip-prinsip penyusunan RPP yang diterapkan guru tersebut sesuai dengan cuplikan RPP tersebut adalah....

- A. pemberian umpan balik dan tindak lanjut RPP memuat rancangan program pemberian umpan balik positif, penguatan, pengayaan, dan remedi.
- B. berpusat pada peserta didik untuk mendorong semangat belajar, motivasi, minat, kreativitas, inisiatif, inspirasi, inovasi dan kemandirian
- C. penekanan pada keterkaitan dan keterpaduan antara KD, materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran, indikator pencapaian kompetensi, penilaian, dan sumber belajar dalam satu keutuhan pengalaman belajar
- D. penerapan teknologi informasi dan komunikasi secara terintegrasi, sistematis, dan efektif sesuai dengan situasi dan kondisi



8. Jika seorang Guru Fisika kelas X meminta siswa untuk melakukan studi pustaka untuk mencari informasi mengenai alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari. Maka KD yang sesuai dengan rencana pelaksanaan pembelajaran guru tersebut adalah....
- A. menganalisis cara kerja alat optik menggunakan sifat pencerminan dan pembiasan cahaya oleh cermin dan lensa
 - B. mengeksplorasi dari sumber belajar yang relevan tentang prinsip pembentukan bayangan dan perbesaran pada kacamata, lup, mikroskop, teropong dan kamera
 - C. menyajikan ide/rancangan sebuah alat optik dengan menerapkan prinsip pemantulan dan pembiasan pada cermin dan lensa
 - D. melakukan eksplorasi tentang pembentukan bayangan dan perbesaran pada kaca mata, lup, mikroskop, teleskop dan kamera

9. Perhatikan kompetensi dasar Fisika Kelas X pada kurikulum 2013 berikut.

3.8 Menganalisis pengaruh kalor dan perpindahan kalor pada kehidupan sehari-hari dan

4.8 Merencanakan dan melaksanakan percobaan untuk menyelidiki karakteristik termal suatu bahan, terutama kapasitas dan konduktivitas kalor

Berdasarkan KD tersebut pengetahuan prosedural yang perlu diberikan kepada peserta didik adalah....

- A. kalor dan karakteristik termal suatu bahan
- B. suhu dan perpindahan kalor dari suhu tinggi ke suhu rendah
- C. kalor dan fenomena pengaruh kalor pada benda dan perambatan kalor
- D. percobaan menentukan pengaruh kalor pada benda dan kalor jenis benda

PENUTUP

Demikian telah kami susun Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan, Kelompok Kompetensi I untuk guru Fisika SMA, dengan harapan dapat membantu Anda meningkatkan pemahaman terhadap materi Pengembangan Perencanaan Pembelajaran dan selanjutnya dapat Anda implementasikan dalam pelaksanaan pembelajaran Fisika di sekolah masing-masing demi tercapainya pembelajaran yang berkualitas.

Materi yang disajikan dalam modul ini tidak terlalu sulit untuk dipelajari sehingga mudah dipahami. Modul ini berisikan konsep-konsep inti dan petunjuk-petunjuk praktis dalam pengembangan instrumen penilaian dengan bahasa yang mudah dipahami. Anda dapat mempelajari materi dan berlatih melalui berbagai aktivitas, tugas, latihan, dan soal-soal yang telah disajikan. Selanjutnya, Anda perlu terus memiliki semangat membaca bahan-bahan yang lain untuk memperluas wawasan tentang penyusunan instrumen penilaian.

Materi yang disajikan dalam modul ini disiapkan untuk guru pada kegiatan diklat baik secara mandiri maupun tatap muka di lembaga pelatihan atau di MGMP. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi pedagogik yang harus dicapai guru pada Kelompok Kompetensi I. Guru dapat belajar dan melakukan kegiatan diklat ini sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, praktik pengembangan RPP dan latihan, dst.

Bagi Anda yang menggunakan modul ini dalam pelaksanaan moda tatap muka kombinasi (*in-on-in*), Anda masih perlu menyelesaikan beberapa kegiatan pembelajaran secara mandiri ataupun kolaboratif bersama rekan guru di sekolah masing-masing (*on the job learning*). Adapun pembelajaran mandiri yang perlu Anda lakukan adalah **LK.I1.03 Penyusunan dan Penelaahan Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP)**, latihan soal pilihan ganda, dan latihan



membuat soal. Produk pembelajaran yang telah Anda hasilkan selama *on the job learning* akan menjadi tagihan yang akan dipresentasikan dan dikonfirmasi pada kegiatan tatap muka kedua (*in-2*).

Akhirnya, tak ada gading yang tak retak, begitu pula dengan modul ini yang masih perlu terus kami perbaiki untuk mencapai taraf kualitas yang lebih baik lagi. Oleh karena itu, kami menunggu dan mengharapkan saran-saran yang konstruktif dan membangun untuk memperbaiki modul ini lebih lanjut. Sekian dan terima kasih, semoga semua pengguna modul meraih kesuksesan, dan selalu mendapat ridho-Nya.

DAFTAR PUSTAKA

- Kemdiknas. 2007. ***Permendikas No. 16 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru***. Jakarta: Kementerian Pendidikan Nasional
- Kemdikbud. 2014. ***Permendikbud No. 59 Tahun 2014 tentang Kurikulum 2013 Sekolah Menengah Atas / Madrasah Aliyah***. Jakarta: Puskurbuk
- Kemdikbud. 2014. ***Permendikbud No. 103 Tahun 2014 tentang Pembelajaran pada Dikdasmen***. Jakarta: Puskurbuk
- Kemdikbud. 2014. ***Permendikbud No. 104 Tahun 2014 tentang Penilaian Hasil Belajar oleh Pendidik pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah***. Jakarta: Puskurbuk
- Suharto.. 2015. ***Modul Pelatihan Implementasi Kurikulum 2013. Mata Pelajaran Fisika tahun 2015***. Pusbangprodik, Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
- Tim Pengembang. 2013. ***Modul Implementasi Kurikulum 2013 Mata Pelajaran Fisika***. Jakarta. Pusbangprodik

GLOSARIUM

Indikator Pencapaian Kompetensi	<ul style="list-style-type: none">- perilaku yang dapat diukur dan/atau diobservasi untuk kompetensi dasar (KD) pada kompetensi inti (KI)-3 dan KI-4;- perilaku yang dapat diobservasi untuk disimpulkan sebagai pemenuhan KD pada KI-1 dan KI-2, yang kedua-duanya menjadi acuan penilaian mata pelajaran.
Kompetensi Dasar	kemampuan dan muatan pembelajaran untuk suatu mata pelajaran pada Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah yang mengacu pada Kompetensi Inti.
Kompetensi Inti	merupakan tingkat kemampuan untuk mencapai Standar Kompetensi Lulusan yang harus dimiliki seorang peserta didik SMA/MA pada setiap tingkat kelas.
Kurikulum	seperangkat rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, dan bahan pelajaran serta cara yang digunakan sebagai pedoman penyelenggaraan kegiatan pembelajaran untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu
Pembelajaran	proses interaksi antarpeserta didik, antara peserta didik dengan tenaga pendidik dan sumber belajar pada suatu lingkungan belajar
Penilaian:	proses pengumpulan dan pengolahan informasi untuk mengukur pencapaian hasil belajar peserta didik.
Peserta didik:	anggota masyarakat yang berusaha mengembangkan potensi diri melalui proses pembelajaran yang tersedia pada jalur, jenjang, dan jenis pendidikan tertentu.
Prinsip	suatu pernyataan fundamental atau kebenaran umum maupun individual yang dijadikan oleh seseorang /kelompok sebagai sebuah pedoman untuk berpikir atau bertindak

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN FISIKA SMA

TERINTEGRASI
PENGUATAN PENDIDIKAN KARAKTER

KELOMPOK KOMPETENSI I

FISIKA MODERN

■ Suharto, S.Pd., M.T.



Pusat Pengembangan Dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

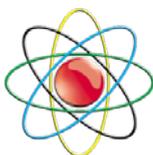
MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI I

FISIKA MODERN

Penulis:
Suharto, S.Pd., M.T.



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
TAHUN 2016

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

MATA PELAJARAN FISIKA
SEKOLAH MENENGAH ATAS (SMA)

KELOMPOK KOMPETENSI I

FISIKA MODERN

Penanggung Jawab

Dr. Sediono Abdullah

Penyusun

Suharto, S.Pd., M.T.

022-4231191

suhartojago@gmail.com

Penyunting

Drs. Iwan Heryawan, M.Si.

Penelaah

Dr. Ida Kaniawati, M.Si.

Dr. Andi Suhandi, M.Si.

Penata Letak

Zuhe Safitra

Copyright © 2017

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan

Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)

Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang menggandakan sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

KATA SAMBUTAN

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar siswa. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas dan berkarakter prima. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen yang menjadi fokus perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam peningkatan mutu pendidikan terutama menyangkut kompetensi guru.

Pengembangan profesionalitas guru melalui Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan merupakan upaya Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan dalam upaya peningkatan kompetensi guru. Sejalan dengan hal tersebut, pemetaan kompetensi guru telah dilakukan melalui Uji Kompetensi Guru (UKG) untuk kompetensi pedagogik dan profesional pada akhir tahun 2015. Hasil UKG menunjukkan peta profil yang menunjukkan kekuatan dan kelemahan kompetensi guru dalam penguasaan pengetahuan pedagogik dan profesional. Peta kompetensi guru tersebut dikelompokkan menjadi 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Tindak lanjut pelaksanaan UKG diwujudkan dalam bentuk pelatihan guru paska UKG pada tahun 2016 dan akan dilanjutkan pada tahun 2017 ini dengan Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan bagi Guru. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kompetensi guru sebagai agen perubahan dan sumber belajar utama bagi peserta didik. Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan bagi Guru dilaksanakan melalui tiga moda, yaitu: 1) Moda Tatap Muka, 2) Moda Daring Murni (*online*), dan 3) Moda Daring Kombinasi (kombinasi antara tatap muka dengan daring).



Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kelautan Perikanan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LP3TK KPTK) dan Lembaga Pengembangan dan Pemberdayaan Kepala Sekolah (LP2KS) merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal.

Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan perangkat dan melaksanakan peningkatan kompetensi guru sesuai bidangnya. Adapun perangkat pembelajaran yang dikembangkan tersebut adalah modul Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan bagi Guru moda tatap muka dan moda daring untuk semua mata pelajaran dan kelompok kompetensi. Dengan modul ini diharapkan program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan memberikan sumbangan yang sangat besar dalam peningkatan kualitas kompetensi guru. Mari kita sukseskan Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan ini untuk mewujudkan Guru Mulia Karena Karya.

Jakarta, Maret 2017

Direktur Jenderal

Guru dan Tenaga Kependidikan

Sumarna Surapranata, Ph.D

NIP. 195908011985032001

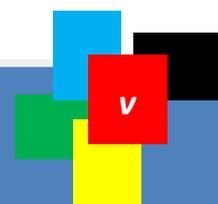
KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke Hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) mata pelajaran Fisika SMA, Kimia SMA dan Biologi SMA. Modul ini merupakan model bahan belajar (*Learning Material*) yang dapat digunakan guru untuk belajar mandiri, fleksibel dan pro-aktif, sesuai kondisi dan kebutuhan penguatan kompetensi yang ditetapkan dalam Standar Kompetensi Guru.

Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan yang merupakan salah satu program PPPPTK IPA ini disusun dalam rangka fasilitasi program peningkatan kompetensi guru pasca UKG yang telah diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Materi modul dikembangkan berdasarkan Standar Kompetensi Guru sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional nomor 16 Tahun 2007 tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru yang dijabarkan menjadi Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.

Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan ini dibuat untuk masing-masing mata pelajaran yang dijabarkan ke dalam 10 (sepuluh) kelompok kompetensi. Materi pada masing-masing modul kelompok kompetensi berisi materi kompetensi pedagogik dan kompetensi profesional guru mata pelajaran, uraian materi, tugas, dan kegiatan pembelajaran, serta diakhiri dengan evaluasi dan uji diri untuk mengetahui ketuntasan belajar. Bahan pengayaan dan pendalaman materi dimasukkan pada beberapa modul untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kegunaan dan aplikasinya dalam pembelajaran maupun kehidupan sehari-hari.

Penyempurnaan modul ini telah dilakukan secara terpadu dengan mengintegrasikan penguatan pendidikan karakter dan kebutuhan penilaian





peserta didik di sekolah dan ujian yang berstandar nasional. Hasil dari integrasi tersebut telah dijabarkan dalam bagian-bagian modul yang terpadu, sesuai materi yang relevan.

Modul ini telah ditelaah dan direvisi oleh tim, baik internal maupun eksternal (praktisi, pakar dan para pengguna). Namun demikian, kami masih berharap kepada para penelaah dan pengguna untuk selalu memberikan masukan dan penyempurnaan sesuai kebutuhan dan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi terkini.

Besar harapan kami kiranya kritik, saran, dan masukan untuk lebih menyempurnakan isi materi serta sistematika modul dapat disampaikan ke PPPPTK IPA untuk perbaikan edisi yang akan datang. Masukan-masukan dapat dikirimkan melalui email para penyusun modul atau email p4tkipa@yahoo.com.

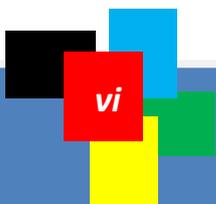
Akhirnya kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para pengarah dari jajaran Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan, Manajemen, Widyaiswara dan Staf PPPPTK IPA, Dosen dan Guru yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian modul ini. Semoga peran serta dan kontribusi Bapak dan Ibu semuanya dapat memberikan nilai tambah dan manfaat dalam peningkatan Kompetensi Guru IPA di Indonesia.

Bandung, April 2017

Kepala PPPPTK IPA,

Dr. Sediono, M.Si.

NIP. 195909021983031002





DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
PENDAHULUAN	
	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN	
I. RELATIVITAS	8
A. Tujuan	9
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	9
C. Uraian Materi	9
D. Aktivitas Pembelajaran	20
E. Latihan/Kasus/Tugas	21
F. Rangkuman	24
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	26
II. FENOMENA KUANTUM	28
A. Tujuan	28
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	28
C. Uraian Materi	29
D. Aktivitas Pembelajaran	47
E. Latihan/Kasus/Tugas	49



F. Rangkuman	41
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	52
III. TEORI ATOM	54
A. Tujuan	54
B. Indikator Ketercapaian Kompetensi	54
C. Uraian Materi	55
D. Aktivitas Pembelajaran	73
E. Latihan/Kasus/Tugas	74
F. Rangkuman	76
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	79
KUNCI JAWABAN	80
EVALUASI	95
PENUTUP	101
DAFTAR PUSTAKA	103
GLOSARIUM	104
LAMPIRAN	105



DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 1	Kompetensi Guru Mapel dan Indikator Pencapaian Kompetensi	3
Tabel 2	Daftar Lembar Kerja Modul	7
Tabel 2.1	Perbedaan pandangan mengenai radiasi benda hitam	34



DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 1	Alur Strategi Pelaksanaan Pembelajaran Tatap Muka	4
Gambar 2	Alur Pembelajaran Tatap Muka Penuh	5
Gambar 3	Alur Pembelajaran Tatap Muka Kombinasi (in-on-in)	6
Gambar 1.1	Kerangka acuan gerak sebuah benda	9
Gambar 1.2	Kecepatan relatif benda terhadap suatu kerangka acuan	10
Gambar 1.3	Titik P pada dua kerangka acuan A dan B	11
Gambar 1.4	Transformasi relativitas galilean	11
Gambar 1.5	Grafik pertambahan massa terhadap kecepatan benda	18
Gambar 2.1	Analogi benda hitam (bola logam berongga yang memiliki sebuah lubang)	29
Gambar 2.2	Kurva Radiasi Benda Hitam	30
Gambar 2.3	Perbandingan grafik energi-frekuensi radiasi dari hasil eksperimen dengan grafik hasil analisis Rayleigh-Jeans	34
Gambar 2.4	Skema perangkat percobaan efek fotolistrik	37
Gambar 2.5	Permukaan logam yang disinari dengan frekuensi sinar tertentu (ν_0 dan ν)	38
Gambar 2.6	Penyinaran katoda alat efek fotolistrik (a) skema alat (b) Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap arus fotolistrik	40
Gambar 2.7	Pengubahan polaritas kutub-kutub alat efek fotolistrik (a) skema alat (b) Grafik penurunan arus fotolistrik untuk frekuensi yang berbeda, $\nu_1 < \nu_2 < \nu_3$	41
Gambar 2.8	Frekuensi ambang untuk calsium dan cesium	42
Gambar 2.9	Skema percobaan hamburan Compton dan grafik variasi sudut hamburan terhadap selisih antara panjang gelombang	43



	sinar X terhambur dengan panjang gelombang sinar X sebelum terhambur	
Gambar 2.10	Gambaran proses tumbukan antara foton dengan elektron	44
Gambar 2.11	Analisis vektor momentum tumbukan foton-elektron pada efek Compton	45
Gambar 3.1	Model atom Thomson	55
Gambar 3.2	Model atom hidrogen menurut Rutherford	57
Gambar 3.3	Ilustrasi dampak dari Model atom hidrogen menurut Rutherford	59
Gambar 3.4	Spektrum garis atom hidrogen	60
Gambar 3.5	Model atom Bohr untuk Hidrogen	63
Gambar 3.6	Jari-jari Lintasan elektron atom hidrogen menurut teori atom Bohr	65
Gambar 3.7	Diagram tingkat energi atom hidrogen	66
Gambar 3.8	Proses transisi elektron dari satu lintasan ke lintasan lainnya	67
Gambar 3.9	Skema alat percobaan Frank-Hertz	70
Gambar 3.10	Grafik I terhadap V percobaan Frank-Hertz (a) hampa udara, (b) uap Hg	71

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Communication, collaboration, critical thinking and problem solving, dan creativity and innovation merupakan kompetensi-kompetensi yang harus dimiliki oleh peserta didik yang hidup di abad 21. Tentunya hal tersebut merupakan tantangan bagi seorang para Guru untuk menciptakan pembelajaran yang dapat membekali peserta didiknya sehingga mereka memiliki kompetensi-kompetensi seperti yang diharapkan. Guru dituntut bukan hanya tahu bagaimana cara menyampaikan sebuah materi, tapi lebih mendasar lagi yaitu memahami secara mendalam materi-materi yang harus mereka sampaikan kepada peserta didik. Dengan kata lain seorang Guru disamping kompeten dalam kompetensi pedagogik, mereka pun dituntut kompeten dalam kompetensi profesional.

Dalam rangka pengembangan pengetahuan dan keterampilan guru dalam penggunaan metode dan pendekatan pembelajaran, dikembangkan modul untuk pengembangan keprofesian berkelanjutan, dengan harapan dapat memberikan kesempatan yang lebih luas kepada guru untuk belajar lebih mandiri dan aktif. Modul ini dapat digunakan oleh guru sebagai bahan ajar dalam kegiatan pendidikan dan pelatihan (diklat) tatap muka langsung atau tatap muka kombinasi (*in-on-in*).

Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan yang berjudul “Fisika Modern” merupakan modul untuk kompetensi profesional guru pada Kelompok Kompetensi I (KK I). Materi pada modul ini dikembangkan berdasarkan standar kompetensi profesional guru pada Permendiknas Nomor 16 Tahun 2007. Kompetensi inti seorang Guru Fisika yang profesional berdasarkan Permendikbud Nomor 16 Tahun 2007 adalah memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel. Salah



satu konsep yang perlu dipahami oleh seorang guru Fisika adalah berkaitan dengan fenomena gerak obyek/partikel dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya, radiasi benda hitam, efek fotolistrik, efek Compton dan partikel penyusun zat/materi.

Setiap materi bahasan dikemas dalam kegiatan pembelajaran yang memuat tujuan, indikator pencapaian kompetensi, uraian materi, aktivitas pembelajaran, latihan/kasus/tugas, rangkuman, umpan balik, dan tindak lanjut. Pada setiap komponen modul yang dikembangkan ini telah diintegrasikan beberapa nilai karakter bangsa, baik secara eksplisit maupun implisit yang dapat diimplementasikan selama aktivitas pembelajaran dan dalam kehidupan sehari-hari untuk mendukung pencapaian revolusi mental bangsa. Integrasi ini juga merupakan salah satu cara perwujudan kompetensi sosial dan kepribadian guru (Permendiknas Nomor 16 Tahun 2007) dalam bentuk modul. Selain itu, disediakan latihan soal dalam bentuk pilihan ganda yang berfungsi juga sebagai model untuk guru dalam mengembangkan soal-soal UN/USBN sesuai topik di daerahnya masing-masing.

Pada bagian pendahuluan modul diinformasikan tujuan secara umum yang harus dicapai oleh guru setelah mengikuti diklat, peta kompetensi yang harus dikuasai guru pada kelompok kompetensi I (KK I), Ruang Lingkup, dan Saran Penggunaan Modul. Setelah guru mempelajari modul ini diakhiri dengan evaluasi untuk refleksi diri.

B. Tujuan

Setelah belajar dengan modul PKB Guru Pembelajar *kelompok kompetensi I*, Anda diharapkan memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori berkaitan dengan Fisika Modern dengan topik relativitas, fenomene kuantum dan teori atom serta penerapannya secara fleksibel.

C. Peta Kompetensi

Kompetensi inti yang diharapkan setelah Anda belajar mempelajari modul ini adalah memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori berkaitan dengan topik fenomena kuantum, relativitas, dan teori atom serta penerapannya secara fleksibel



Kompetensi Guru Mata Pelajaran dan Indikator Pencapaian Kompetensi yang diharapkan tercapai melalui belajar dengan modul ini tercantum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kompetensi Guru Mapel dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Guru Mapel	Indikator Esensial/ Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)
20.1. Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel.	20.1.33 Menerapkan teori relativitas khusus Einstein pada penjumlahan kecepatan relativistik/kontraksi panjang/Lorentz/dilatasi waktu dan massa, momentum dan energi relativistik suatu partikel
	20.1.34 Menerapka teori kuantum pada fenomena radiasi benda hitam, efek fotolistrik dan efek Compton
	20.1.35 Mendeskripsikan perkembangan teori atom

D. Ruang Lingkup

Materi pada Modul Kelompok Kompetensi I berkaitan dengan Fisika Modern yang mencakup teori-teori, konsep-konsep, dan hukum-hukum yang berkaitan dengan topik relativitas secara umum, realtivitas khusus Einstein, fenomena kuantum, dan teori atom. Modul Kelompok Kompetensi I ini disusun dalam empat bagian, yaitu bagian Pendahuluan, Kegiatan Pembelajaran, Evaluasi dan Penutup. Bagian pendahuluan berisi tentang latar belakang pengembangan modul kelompok kompetensi I, tujuan, kompetensi guru yang diharapkan dapat dicapai setelah pembelajaran, ruang lingkup dan saran penggunaan modul. Bagian kegiatan pembelajaran berisi Tujuan, Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK), Uraian Materi, Aktivitas Pembelajaran, Latihan/Kasus/Tugas, Rangkuman, Umpan Balik dan Tindak Lanjut serta pada bagian akhir terdapat Kunci Jawaban Latihan/Kasus/Tugas, Evaluasi dan Penutup.

Rincian materi pada modul adalah sebagai berikut.

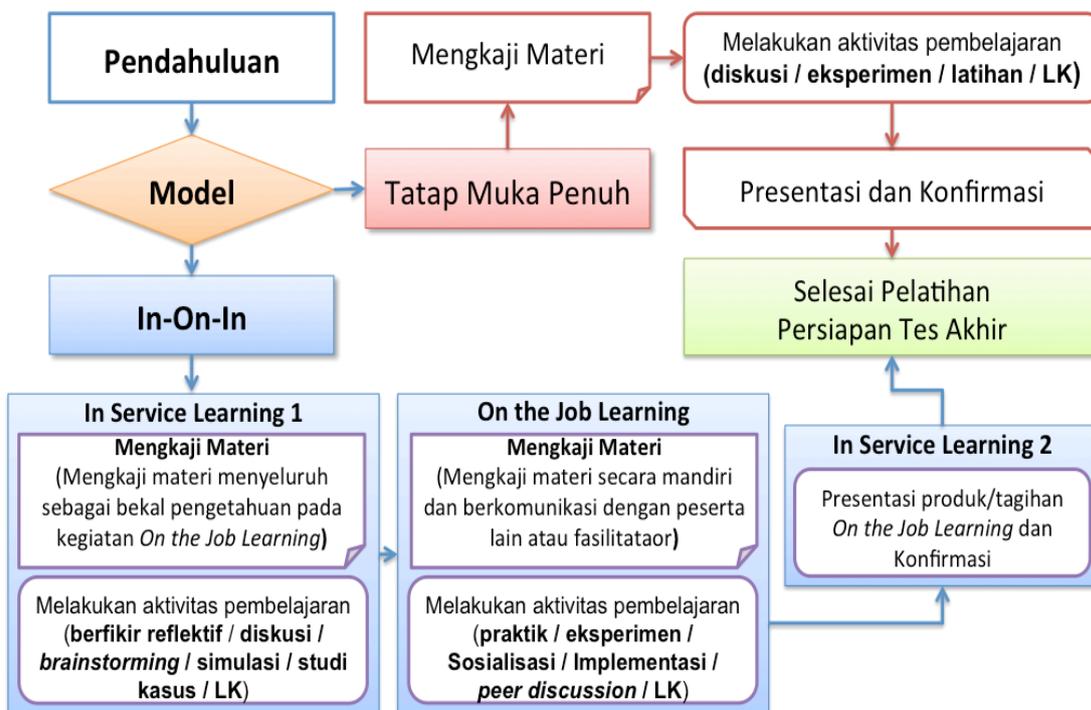
1. Relativitas
2. Fisika Kuantum



3. Teori Atom

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Secara umum, cara penggunaan modul pada setiap **Aktivitas Pembelajaran** disesuaikan dengan skenario setiap penyajian mata diklat. Modul ini dapat digunakan dalam kegiatan pembelajaran oleh guru, baik untuk moda tatap muka penuh, maupun moda tatap muka kombinasi (*in-on-in*). Berikut ini gambar yang menunjukkan langkah-langkah kegiatan belajar secara umum.

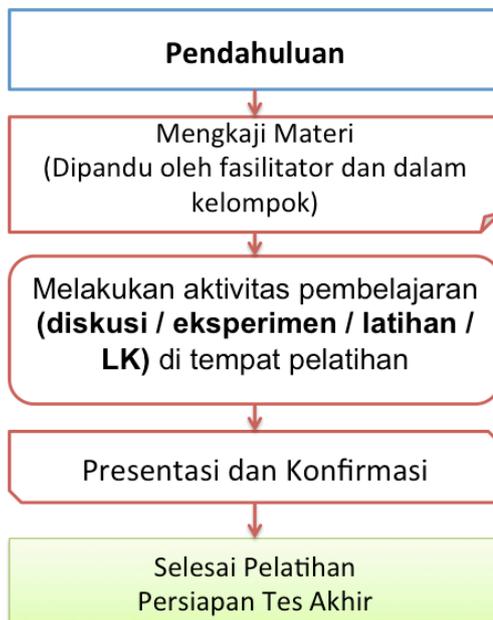


Gambar 1. Alur Strategi Pelaksanaan Pembelajaran Tatap Muka

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat terdapat dua alur kegiatan pelaksanaan kegiatan, yaitu diklat tatap muka penuh dan kombinasi (*In-On-In*). Deskripsi kedua jenis diklat tatap muka ini terdapat pada penjelasan berikut.



1. Deskripsi Kegiatan Diklat Tatap Muka Penuh



Kegiatan tatap muka penuh ini dilaksanakan secara terstruktur pada suatu waktu yang di pandu oleh fasilitator. Tatap muka penuh dilaksanakan menggunakan alur pembelajaran yang dapat dilihat pada alur berikut ini.

a. Pendahuluan

Pada kegiatan pendahuluan fasilitator memberi kesempatan kepada peserta diklat untuk mempelajari:

Gambar 2. Alur Pembelajaran Tatap Muka Penuh

- latar belakang yang memuat gambaran materi
- tujuan kegiatan pembelajaran setiap materi
- kompetensi atau indikator yang akan dicapai melalui modul
- ruang lingkup materi kegiatan pembelajaran
- cara penggunaan modul

1. Mengkaji materi diklat

Pada kegiatan ini fasilitator memberi kesempatan kepada guru untuk mempelajari materi yang diuraikan secara singkat sesuai dengan indikator pencapaian hasil belajar. Guru dapat mempelajari materi secara individual atau kelompok.

2. Melakukan aktivitas pembelajaran

Pada kegiatan ini peserta melakukan kegiatan pembelajaran sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul, baik bagian **1. Diskusi Materi**, **2. Praktik**, **3. Penyusunan Soal UN/USBN** dan aktivitas mengisi soal **Latihan**. Pada kegiatan ini peserta secara aktif menggali informasi, mengumpulkan, dan mengolah data sampai membuat kesimpulan kegiatan.



3. Presentasi dan Konfirmasi

Pada kegiatan ini peserta melakukan presentasi hasil kegiatan sedangkan fasilitator melakukan konfirmasi terhadap materi yang dibahas secara bersama-sama.

4. Refleksi Kegiatan

Pada kegiatan ini peserta dan penyaji merefleksikan penguasaan materi setelah mengikuti seluruh kegiatan pembelajaran.

2. Deskripsi Kegiatan Diklat Tatap Muka Kombinasi

Kegiatan diklat tatap muka kombinasi (*in-on-in*) terdiri atas tiga kegiatan, yaitu tatap muka kesatu (*in-1*), penguasaan (*on the job learning*), dan tatap muka kedua (*in-2*). Secara umum, kegiatan pembelajaran diklat tatap muka kombinasi tergambar pada alur berikut ini.



Gambar 3. Alur Pembelajaran Tatap Muka Kombinasi (*in-on-in*)



Pada Kegiatan *in-1* peserta mempelajari uraian materi dan mengerjakan Aktivitas Pembelajaran bagian **1. Diskusi Materi** di tempat diklat. Pada saat *on the job learning* peserta melakukan Aktivitas Pembelajaran bagian **2. Praktik**, bagian **3. Menyusun Soal UN/USBN**, dan mengisi **Latihan** secara mandiri di tempat kerja masing-masing. Pada Kegiatan *in-2*, peserta melaporkan dan mendiskusikan hasil kegiatan yang dilakukan selama *on the job learning* yang difasilitasi oleh narasumber/instruktur nasional.

Modul ini dilengkapi dengan beberapa kegiatan pada Aktivitas Pembelajaran (BAB II, Bagian E) sebagai cara guru untuk mempelajari materi yang dipandu menggunakan Lembar Kegiatan (LK). Pada kegiatan diklat tatap muka kombinasi, beberapa LK dikerjakan pada *in-1* dan beberapa LK dikerjakan pada saat *on the job learning*. Hasil implementasi LK pada *on the job learning* menjadi tagihan pada kegiatan *in-2*. Berikut ini daftar pengelompokan Lembar Kegiatan (LK) pada setiap tahap kegiatan tatap muka kombinasi.

Tabel 2. Daftar Lembar Kerja Modul

No	Lembar Kerja	Nama Lembar Kerja	Dilaksanakan Pada Tahap
1.	I1.01	Kajian Topik Relativitas	IN1
2.	I1.02	Latihan Soal	IN1
3.	I1.03	Tugas Mengembangkan Soal	ON
4.	I2.01	Kajian Topik Fisika Kuantum	IN1
5.	I2.02	Latihan Soal	IN1
6.	I2.03	Tugas Mengembangkan Soal	ON
7.	I3.01	Kajian Topik Teori Atom	IN1
8.	I3.02	Latihan Soal	IN1
9.	I3.03	Tugas Mengembangkan Soal	ON

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

RELATIVITAS

Sebagian besar pengalaman dan pengamatan kita sehari-hari berkaitan dengan obyek/materi yang bergerak dengan kecepatan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan cahaya. Mekanika Newton secara umum dapat menjelaskan fenomena gerak obyek dengan kecepatan yang jauh lebih rendah dibandingkan kecepatan cahaya, namun mekanika Newton tidak dapat menjelaskan gerak partikel yang memiliki kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Apa yang terjadi ketika kita memberikan gaya pada suatu benda? Atau pada sebuah elektron? Menurut mekanika Newton, benda atau elektron tersebut akan dipercepat dengan percepatan tertentu dan besarnya perubahan kecepatan yang diperoleh benda/elektron dapat menjadi besar jika gaya yang diberikan atau energi yang diterima benda sangat besar, misal elektron yang dipasang pada tegangan 1 volt, energi kinetik yang dimiliki elektron mencapai $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ dan besarnya kecepatan elektron $v = 5,9 \times 10^5 \text{ m/s}$, hasil ini sesuai dengan hasil eksperimen. Namun ketika beda tegangan potensial yang diberikan pada elektron sangat besar sekali, misal 1 MeV, kecepatan electron menjadi $v = 5,9 \times 10^8 \text{ m/s}$, hasil ini sangat menyimpang dari hasil eksperimen, hasil eksperimen menunjukkan bahwa berapapun besarnya energi kinetik suatu benda, kecepatannya tidak pernah melebihi $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (kecepatan cahaya), ini merupakan kegagalan dari hukum Newton.

Teori relativistik khusus tidak hanya mampu menerangkan tentang kecepatan elektron di atas, tetapi juga mampu menerangkan tentang bertambahnya waktu hidup dari suatu partikel yang bergerak mendekati kecepatan cahaya serta mampu menerangkan hubungan antara massa dan energi. Dalam modul ini, kita akan membahas konsep relativitas secara umum, dimulai dengan teori relativitas galilean sampai pada teori relativitas khusus Einstein.



A. Tujuan

Setelah Anda membaca dan mempelajari modul ini secara mandiri/kerjasama disertai dengan sikap disiplin, kreatif, dan bertanggung jawab, Anda diharapkan dapat memahami konsep relativitas khusus dan penerapannya.

B. Indikator Ketercapaian Kompetensi

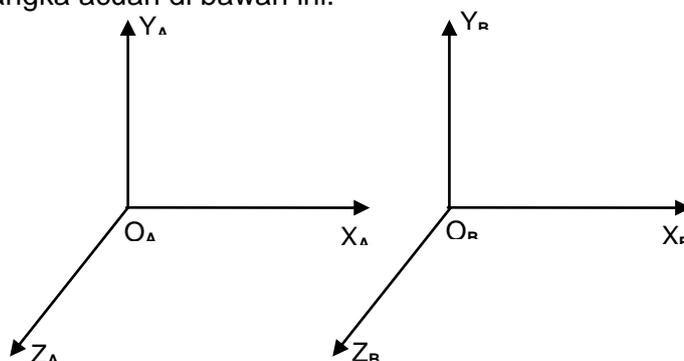
Indikator hasil belajar yang diharapkan dapat dicapai adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan teori relativitas *Galilean*.
2. Mendeskripsikan teori relativitas khusus *Einstein*.
3. Menerapkan teori relativitas khusus *Einstein* pada penjumlahan kecepatan relativistik.
4. Menentukan kontraksi panjang/*Lorentz* berdasarkan teori relativistik khusus *Einstein*.
5. Menentukan pemuluran/pemuaian waktu berdasarkan teori relativistik khusus *Einstein*.
6. Menentukan massa, momentum dan energi relativistik suatu partikel

C. Uraian Materi

1. Relativitas *Galilean*

Jauh sebelum Einstein lahir, Galileo Galilei telah membuat pemikiran tentang relativitas atau yang lebih dikenal dengan transformasi relativitas Galilean. Bahkan Newton pun mengembangkan hukum-hukum tentang gerak dari transformasi galilean. Untuk memahami relativitas galilean tinjaulah kerangka acuan di bawah ini.

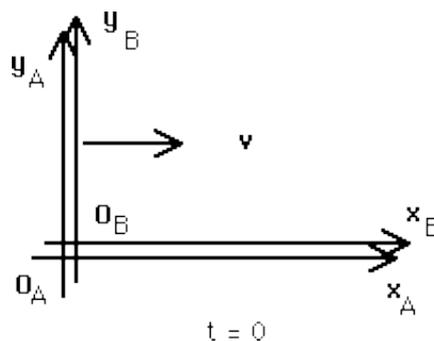


Gambar 1.1 Kerangka acuan gerak sebuah benda



Ada dua macam obyek dengan kerangka acuannya masing-masing. Obyek O_A dengan kerangka $X_A Y_A Z_A$ dan obyek O_B dengan kerangka $X_B Y_B Z_B$. O_A melihat O_B bergerak dengan kecepatan v searah sumbu X_B . Jika merunut pada pemikiran Galileo, karena sumbu Y_A sejajar dengan Y_B dan sumbu Z_A sejajar pula dengan Z_B , maka bisa dikatakan $Y_A = Y_B$ dan $Z_A = Z_B$, sehingga yang perlu diperhatikan hanyalah sumbu X_A dan X_B , dengan pengamat A di O_A dan pengamat B di O_B .

Tinjau dua pengamat tersebut, O_A dan O_B yang bergerak relatif satu sama lain dengan kecepatan tetap v . Kecepatan O_B relatif terhadap O_A adalah v dan kecepatan O_A relatif terhadap O_B adalah $-v$. Perhatikan diagram berikut.



Gambar 1.2 Kecepatan relatif benda terhadap suatu kerangka acuan

Menurut Galileo, O_A melihat O_B bergerak sejauh :

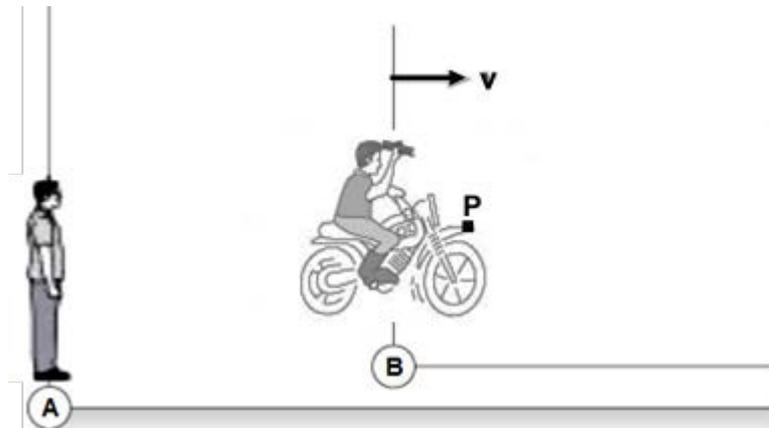
$$X_B = X_A + vt$$

Sementara jika dibalik, O_B melihat O_A bergerak sejauh :

$$X_A = X_B - vt$$

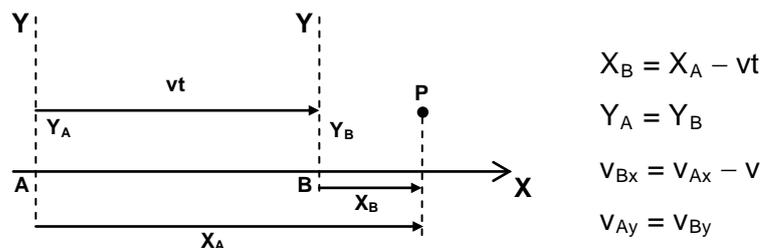
Perhatikan bahwa baik di O_A maupun O_B , waktu t senantiasa bernilai sama. Inilah yang dikenal sebagai transformasi **Galileo**.

Sekarang anggaplah suatu benda ditempatkan pada titik **P**, seperti pada gambar berikut.



Gambar 1.3 Titik P pada dua kerangka acuan A dan B

Kedua pengamat mendapatkan persamaan kecepatan dan posisi sebagai berikut.

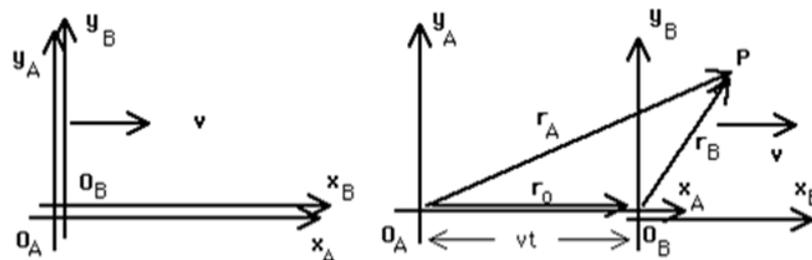


Di mana X_A dan Y_A adalah koordinat titik P diukur oleh pengamat A, X_B dan Y_B adalah koordinat yang diukur oleh pengamat B. Sedangkan v_{Ax} , dan v_{Ay} adalah komponen kecepatan P yang diukur oleh A, dan v_{Bx} dan v_{By} adalah komponen kecepatan yang diukur oleh B. Waktu yang diukur t dan v adalah kecepatan relatif kedua pengamat. Persamaan posisi dan kecepatan titik P, yang selanjutnya dikenal dengan Transformasi Relativitas Galilean adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A - \mathbf{v} t$$

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A - \mathbf{v}$$

Semua perubahan bentuk persamaan ini dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 1.4 Transformasi relativitas galilean



Transformasi relativitas Galilean didasari konsep "tidak ada ruang mutlak", yang ada adalah "ruang relatif". Isaac Newton dengan mengacu pada transformasi relativitas Galilean, juga menolak adanya ruang mutlak, menurut Newton, "sebuah obyek disebut bergerak jika telah terjadi perubahan jarak dengan obyek lain (sembarang obyek) di dunia ini", sehingga yang ada hanya ruang relatif. Namun baik Galileo maupun Newton tetap meyakini adanya waktu mutlak, yakni waktu menurut seluruh obyek di alam semesta ini adalah identik, tanpa dipengaruhi kedudukan dan kecepatan setiap obyek. Anggapan tentang waktu mutlak inilah yang direvisi oleh Einstein dengan relativitas khususnya.

2. Teori Relativitas Khusus

Kejadian-kejadian yang terjadi sehari-hari di sekitar kita pada umumnya berhubungan dengan kecepatan yang jauh lebih kecil dari kecepatan cahaya. Karena itu sampai awal abad ke-20 ide awal tentang ruang dan waktu dijelaskan berdasarkan kecepatan ini dan hukum-hukum mekanika mengacu pada hukum Newton yang saat itu sangat diakui kebenarannya. Tetapi ternyata pada percobaan gerak partikel yang menggunakan kecepatan mendekati kecepatan cahaya (disebut kecepatan relativistik) hukum Newton gagal diterapkan. Contoh kegagalan hukum Newton ini adalah pada saat dilakukan percobaan pemercepat partikel, yaitu elektron dalam suatu akselerator yang diberi potensial sangat tinggi (sampai jutaan Volt) sehingga mempunyai kecepatan sampai kira-kira $0,99c$. Menurut hukum energi Newton berlaku rumus $E_k = \frac{1}{2} mv^2$, untuk massa (m) elektron yang tetap jika energi akselerator ditingkatkan menjadi 4 kali dengan cara diberi beda potensial listrik yang lebih tinggi maka seharusnya kecepatan elektron akan menjadi $1,98 c$ (2 kali kecepatan semula). Tapi hasil percobaan menunjukkan bahwa kecepatan elektron hampir tetap yaitu sebesar $0,99 c$. Dari hasil percobaan ini terbukti bahwa Hukum Newton tidak berlaku karena ternyata kecepatan partikel mempunyai batasan tertentu.

Pada tahun 1905, Albert Einstein (1879 – 1955) seorang pegawai jawatan paten Swiss mengemukakan teori relativitas khusus untuk menjelaskan batas kecepatan suatu partikel. Teori ini memberi penjelasan untuk benda –



benda yang bergerak dalam kecepatan tetap. Kedua postulat yang dikemukakan oleh Einstein adalah sebagai berikut.

- a. Hukum fisika adalah sama untuk semua kerangka acuan inersial, yaitu suatu kerangka acuan yang berada dalam keadaan diam atau bergerak terhadap acuan lainnya dengan kecepatan konstan pada suatu garis lurus. Semua gerak adalah relatif. Kecepatan obyek hanya dapat dinyatakan secara relatif terhadap obyek lainnya dan tidak mungkin dinyatakan secara mutlak.
- b. Kelajuan cahaya dalam vakum memiliki nilai yang sama menurut semua kerangka acuan inersial yaitu sebesar $c = 3 \times 10^8$ m/s

Karya besar Einstein inilah yang merupakan salah satu tonggak dari fisika modern dan disebut *teori relativitas khusus* karena teori relativitas ini hanya berlaku bagi kerangka acuan inersial. Selanjutnya baru pada tahun 1916 Einstein mengusulkan *teori relativitas umum* yang berlaku bagi semua kerangka acuan baik inersial maupun non inersial. Modul ini hanya akan membahas teori relativitas khusus yang akan menghasilkan ramalan-ramalan mengenai kecepatan relativistik, penyusutan panjang, pemuluran waktu serta rumus spektakuler yang dikemukakan Einstein tentang energi relativistik.

a. Penjumlahan Kecepatan Secara Relativistik

Solusi gerak relatif secara umum terutama dalam kecepatan relativistik dibutuhkan karena solusi dengan menggunakan Fisika Klasik tidak dapat menjawab permasalahan dengan baik. Sebagai gambaran jika seorang Pengamat diam di tepi jalan dilewati oleh sebuah bus yang melaju ke Utara dengan kelajuan 80 km/jam, maka Pengamat akan mengatakan bahwa bus bergerak menjauh dengan kelajuan 80 km/jam arah ke Utara. Tetapi orang yang ada di dalam bus akan mengatakan Pengamatlah yang bergerak ke Selatan dengan kelajuan 80 km/jam. Jika selanjutnya orang yang di dalam bus berjalan searah dengan arah gerak bus dengan kelajuan 4 km/jam maka akan diperoleh penjumlahan kecepatan relatif menurut relativitas Newton dan Pengamat akan mengatakan bahwa laju orang di dalam bus tersebut menjadi 84 km/jam ke arah Utara, yaitu 80 km/jam + 4 km/jam. Demikian



pula sebaliknya orang tersebut menganggap Pengamat bergerak ke arah Selatan dengan laju sebesar laju dirinya ditambah laju bus yaitu 84 km/jam.

Namun penjumlahan kecepatan relatif menurut Newton seperti contoh di atas tidak akan berlaku jika kecepatannya mendekati kecepatan cahaya c . Sebagai contoh dari kasus di atas jika kelajuan bus dimisalkan adalah $0,8c$ dan laju orang di dalam bus adalah $0,6c$ keduanya searah ke Utara maka seharusnya menurut relativitas Newton akan diperoleh penjumlahan kecepatan relatif sebesar $0,8c + 0,6c = 1,4c$. Perolehan hasil penjumlahan kecepatan yang melebihi kecepatan mutlak c jelas tidak mungkin karena ini menyalahi postulat Einstein yang menyatakan bahwa kecepatan suatu partikel tidak mungkin melebihi kecepatan mutlak cahaya yaitu sebesar c .

Oleh karena itu melalui transformasi Lorentz tentang kecepatan, Einstein mengoreksi kesalahan penjumlahan kecepatan relatif tersebut dengan memberikan persamaan yang berlaku untuk penjumlahan *kecepatan relativistik*.

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- v = kecepatan benda/partikel kedua terhadap pengamat (m/s)
- v_1 = kecepatan benda/partikel pertama terhadap pengamat (m/s)
- v_2 = kecepatan benda/partikel kedua terhadap benda/partikel pertama (m/s)
- c = kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s

Perlu diperhatikan semua v (kecepatan benda/partikel) dalam persamaan tersebut adalah kecepatan relativistik. Jika rumus ini diterapkan pada contoh kasus di atas maka akan diperoleh kecepatan relatif dari orang yang di dalam bus terhadap pengamat yang diam adalah sebesar:

$$v = \frac{0,8c + 0,6c}{1 + \frac{0,8c \times 0,6c}{c^2}} = \frac{1,4c}{1 + 0,48} = 0,946c \text{ m/s}$$



Dari hasil tersebut nampak bahwa dengan menggunakan persamaan (1), yaitu rumus penjumlahan untuk kecepatan relativistik maka kecepatan relatif yang diperoleh harganya tidak akan mungkin melebihi kecepatan mutlak c .

b. Pemuaian Waktu (*Time Dilation*)

Dua buah jam yang identik jika sebelumnya sudah dicocokkan dan diletakkan diam bersebelahan akan selalu menunjukkan waktu yang sama. Akan tetapi kalau salah satu jam tersebut diberi percepatan sehingga mempunyai kecepatan v yang sangat tinggi yang bahkan mendekati kecepatan cahaya c , maka menurut pengamat yang diam, jam yang bergerak tersebut akan tampak *berjalan lebih lambat* dibandingkan dengan jam yang diam bersama pengamat. Waktu yang diukur oleh jam yang ada di tangan pengamat, berada dalam keadaan diam terhadap pengamat (kerangka diam), disebut *waktu yang sebenarnya (proper time)* dan *waktu yang diukur oleh sebuah jam dalam kerangka bergerak menjadi mulur bila diamati dari kerangka diam, peristiwa ini disebut dilasi waktu atau pemuaian waktu*

Berdasarkan penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu pun bersifat relatif. Untuk mengukur selang waktu relatif antara dua kejadian yang terjadi pada tempat yang sama dan diukur oleh pengamat yang diam serta oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan relativistik maka digunakan persamaan berikut.

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{sekon}) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

Δt = selang waktu relativistik (sekon)

Δt_0 = selang waktu sejati (sekon)

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \geq 1 = \text{tetapan transformasi}$$

Selang waktu sejati merupakan selang waktu yang diukur oleh pengamat yang diam, sedangkan selang waktu yang diukur oleh pengamat yang



bergerak adalah selang waktu relativistik. Faktor pengali γ disebut **tetapan transformasi** atau **faktor Lorentz** dan **umumnya lebih besar dari 1**. Akibatnya pada persamaan (2) di atas akan berlaku Δt **umumnya lebih besar** daripada Δt_0 atau dapat dikatakan bahwa *selang waktu relativistik umumnya lebih lama dibandingkan dengan selang waktu sejati*. Pada kasus kedua pengamat diam, maka $v = 0$, sehingga $\gamma = 1$ dan $\Delta t = \Delta t_0$.

c. Kontraksi Lorentz

Jika seorang pengamat dalam keadaan diam terhadap benda mengukur panjang sebuah benda dalam komponen x dan mendapatkan panjang benda tersebut adalah L_0 maka **L_0 disebut panjang sejati** benda tersebut. Selanjutnya jika benda tersebut kemudian diberi kecepatan v dalam arah x atau **sejajar** terhadap arah memanjang benda, maka menurut pengamat yang diam, komponen x benda panjangnya akan tampak berubah dan disebut **panjang relativistik L** (hanya komponen x saja yang berubah sedangkan komponen y dan z yang tegak lurus terhadap arah gerak tidak mengalami perubahan). Harga panjang relativistik ini dirumuskan sebagai berikut.

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = L_0 \frac{1}{\gamma} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- L = panjang relativistik (m)
- L_0 = panjang sejati (diam) (m)
- v = kecepatan relativistik benda (m/s)
- c = kelajuan cahaya dalam vakum = 3×10^8 m/s

Karena tetapan transformasi atau faktor Lorentz γ pada umumnya memiliki nilai lebih besar dari 1 ($\gamma > 1$), maka sebagai akibatnya harga relativistik L umumnya lebih kecil dari harga sejati L_0 , atau dapat dinyatakan panjang relativistik umumnya lebih pendek daripada panjang sejati ($L < L_0$). L akan sama dengan L_0 terjadi ketika $v = 0$, maka $\gamma = 1$, dan $L = L_0$. Efek berkurangnya panjang benda jika bergerak sejajar terhadap arah memanjang benda ini disebut **penyusutan panjang atau kontraksi panjang**. Peristiwa ini pertama kali diramalkan oleh Hendrik Anton Lorentz,



seorang fisikawan Belanda. Oleh karena itu peristiwa penyusutan panjang ini disebut juga **kontraksi Lorentz**.

d. Massa dan Momentum Relativistik

Dalam mekanika ada tiga buah besaran yang selalu digunakan yaitu besaran panjang, selang waktu dan massa. Menurut pemahaman fisika klasik yang sebelumnya selalu dianut, massa adalah besaran yang bersifat mutlak, demikian pula dengan panjang dan selang waktu. Tetapi dengan teori relativitas khusus telah dibuktikan bahwa panjang dan selang waktu ternyata bersifat relatif, sehingga menimbulkan pertanyaan mungkinkah massa juga bersifat relatif.

Berdasarkan hukum kekekalan momentum akhirnya Einstein kembali dapat membuktikan bahwa massa suatu benda yang bergerak dengan kecepatan relativistik akan bertambah besar dan berarti bersifat relativistik pula. Besarnya massa relativistik ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_0 \quad (\text{kg}) \dots\dots\dots (4)$$

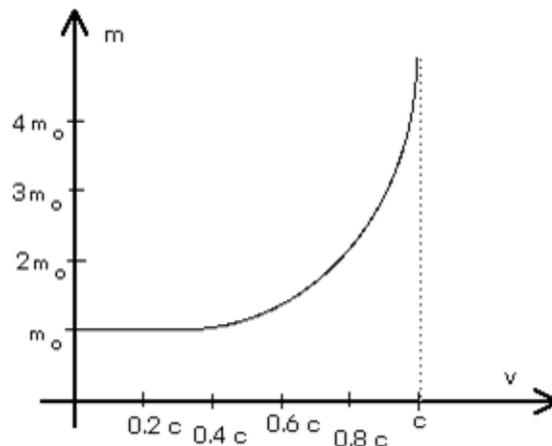
Keterangan :

- m = massa relativistik (diukur terhadap kerangka acuan yang *bergerak* terhadap benda) dalam kg
- m₀ = massa diam benda (diukur terhadap kerangka acuan yang diam terhadap benda) dalam kg
- v = kelajuan relativistik benda (m/s)
- c = kelajuan cahaya dalam vakum = 3 x 10⁸ m/s
- γ = tetapan transformasi ≥ 1

Berdasarkan persamaan di atas, jika kecepatan benda v ditambah terus hingga harganya sama dengan kecepatan cahaya c (v = c) maka massa benda akan menjadi tak terhingga (m → ∞), dan ini berarti dibutuhkan gaya-gaya yang tak terhingga pula besarnya agar benda dapat mencapai kecepatan cahaya c. Dari keadaan ini dapat disimpulkan bahwa tidaklah mungkin suatu benda diberi kecepatan sebesar c, sehingga c adalah batas



maksimum kecepatan semua benda. Pertambahan massa karena perubahan kecepatan mengikuti grafik seperti pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Grafik pertambahan massa terhadap kecepatan benda

Sebelumnya pada fisika klasik sudah dijelaskan bahwa jika suatu benda yang bermassa m bergerak dengan kecepatan v maka benda akan mempunyai momentum sebesar:

$$p = m v$$

Pada relativitas khusus, karena benda bergerak dengan kecepatan relativistik maka momentum yang timbul disebut **momentum relativistik**.

Besarnya momentum relativistik ini juga merupakan hasil kali antara massa dengan kecepatan, tetapi massa dalam hal ini adalah massa relativistik, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$p = m v = \gamma m_0 v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{kgm/s}) \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- p = momentum relativistik benda (kgm/s)
- m = massa relativistik (kg)
- v = kecepatan relativistik (m/s)
- m_0 = massa diam benda (kg)
- c = kecepatan cahaya (m/s)



e. Energi Relativistik

Berdasarkan mekanika relativistik, energi kinetik benda yang kecepatannya v dan massanya m_0 (dalam keadaan diam), bukan $\frac{1}{2} m_0 v^2$, melainkan:

$$E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

Ungkapan energi kinetik di atas terdiri atas dua suku, yaitu :

$$\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ dan } m_0 c^2$$

Einstein menginterpretasikan bahwa $\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ sebagai energi total (E) benda

yang bermassa m dengan kecepatan v , sedangkan $m_0 c^2$ energi total ketika diam (E_0), sehingga

$$\frac{m c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m c^2 + E_k \quad \text{atau} \quad E = E_0 + E_k$$

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = m c^2 - m_0 c^2$$

$$E_k = (m - m_0) c^2$$

dengan: $E =$ energi total $= m c^2$

$E_0 =$ energi diam $= m_0 c^2$

$E_k =$ energi kinetik benda

Akibat interpretasi tersebut, benda yang bermassa m akan memiliki energi sebesar, $E = m c^2$, dengan kata lain massa setara dengan energi. Semakin cepat suatu benda bergerak maka semakin besar energi total (E) yang dimiliki benda, karena massa relativistiknya bertambah besar.



Catatan:

Pada pembahasan relativitas tidak berlaku hukum kekekalan massa karena massa benda yang bergerak $>$ massa benda diam, tapi hukum kekekalan energi tetap berlaku

D. Aktivitas Pembelajaran

Untuk lebih memahami materi tentang metode pembelajarn Anda dapat membaca secara mandiri berbagai artikel, *hand out* atau sumber bacaan yang lebih lengkap. Setelah itu lakukan kegiatan sesuai lembar kegiatan yang tersedia, hasil kerja yang telah dikembangkan diskusikan dengan rekan sejawat dan sebaiknya perwakilan peserta mempresentasikan hasil kerjanya, peserta lain menyimak presentasi dengan cermat dan serius sebagai penghargaan kepada pembicara.

Lembar Kerja I1.01

KAJIAN TOPIK RELATIVITAS

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta diklat mampu mengidentifikasi konsep-konsep penting topik Relativitas dalam bentuk peta pikiran

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang topik Relativitas
2. Identifikasi konsep-konsep penting yang ada pada topik Relativitas dan gambarkan dalam peta pikiran
3. Setelah selesai, presentasikan hasil diskusi kelompok Anda!
4. Perbaiki hasil kerja kelompok Anda jika ada masukan dari kelompok lain!



Lembar Kerja I1.02

LATIHAN SOAL

Tujuan Kegiatan: Melalui kerja mandiri/diskusi kelompok peserta diklat mampu menerapkan konsep-konsep relativitas dalam berbagai permasalahan

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang topik Relativitas
2. Cermati soal-soal yang ada pada bagian **E. LATIHAN/KASUS/TUGAS** pada sub-bagian **Latihan Soal**
3. Kerjakan soal-soal secara mandiri!
4. Diskusikan dengan rekan sejawat jika Anda menemui kesulitan dalam mengerjakan soal-soal!
5. Kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan!

TUGAS MENGEMBANGKAN SOAL

Tujuan Kegiatan: Melalui kerja mandiri peserta diklat mampu mengembangkan soal-soal USBN berdasarkan kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada materi relativitas

Langkah Kegiatan:

1. Cermati prosedur pengembangan soal yang ada pada sub-bagian **E. LATIHAN/KASUS/TUGAS** pada sub-bagian **Tugas Mengembangkan Soal**
2. Kerjakan Tugas Mengembangkan Soal secara mandiri sesuai dengan prosedur yang disarankan dan dikumpulkan tepat pada waktunya!

E. Latihan/Kasus/Tugas

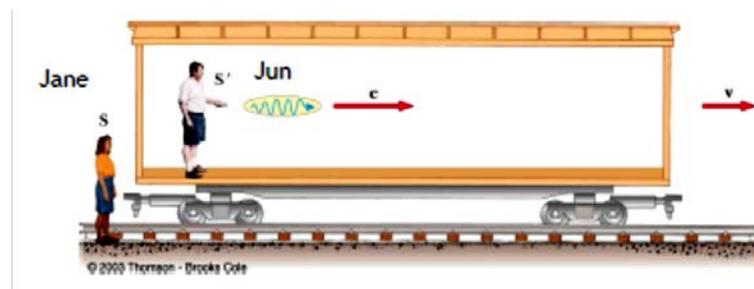
Setelah mempelajari materi secara mandiri dengan seksama, silahkan Anda mencoba mengerjakan tugas berikut, kaji secara mandiri selanjutnya diskusikan dalam kelompok dan kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan!

Latihan Soal

1. Sebutkan jenis-jenis kerangka acuan!
2. Beri contoh penggunaan kerangka acuan dalam permasalahan fisika!



3. Berdasarkan contoh yang Anda sebutkan, bagaimanakah bentuk transformasi dari kerangka acuan inersia ke kerangka acuan inersia yang lain untuk kasus waktu sebagai besaran mutlak!
4. Apakah hukum penjumlahan kecepatan Galilean tersebut berlaku untuk seluruh rentang kecepatan benda? Misalkan dua orang pengamat Jane dan Jun sama-sama mengamati cepat rambat cahaya. Jun berada gerbong kereta api, dimana kereta api bergerak dengan kecepatan konstan v relatif terhadap Jane yang ada di pinggir rel kereta api. Jun menyalakan senter dengan arah rambat cahaya searah dengan arah gerak kereta, menurut Jun cepat rambat cahaya tersebut adalah c . Berdasarkan penjumlahan kecepatan Galilean berapakah cepat rambat cahaya menurut Jane?



5. Dua buah mobil melaju dengan laju tetap di sepanjang sebuah jalan lurus dalam arah yang sama. Mobil A bergerak dengan laju 60 km/jam, sedangkan mobil B 40 km/jam. Masing-masing laju diukur relatif terhadap seorang pengamat di tanah. Berapalah laju mobil A terhadap mobil B?
6. Sebuah pesawat angkasa terbang pada kelajuan $0,990c$ relatif terhadap bumi. Seberkas sinyal (pulsa) laser dengan intensitas tinggi pada pesawat itu berkedip-kedip setiap $2,20 \times 10^{-6}$ s diukur dari pesawat angkasa itu. Berapakah lama setiap pulsa cahaya yang teramati oleh Nella yang diam di bumi?
7. Sebuah kincir angin ketika diamati oleh seorang pengamat yang diam di bumi, untuk berputar satu kali membutuhkan waktu 5,00 sekon. Berapakah waktu yang dibutuhkan oleh kincir angin tersebut untuk berputar satu kali menurut seorang pengamat yang bergerak relatif terhadap bumi dengan kecepatan $0,96 c$?



8. Sebuah elektron mempunyai massa diam $9,11 \times 10^{-31}$ kg. Berapakah massanya saat bergerak dengan kelajuan: (a) $0,05 c$? dan (b) $0,92 c$?
9. Berapakah momentum dari proton yang bergerak dengan kecepatan $0,96c$ jika massa diam proton adalah $1,6 \times 10^{-27}$ kg?
10. Sebuah pesawat angkasa bergerak dengan kelajuan $0,990c$ relatif terhadap bumi. Salah seorang awak pesawat itu mengukur panjang pesawat dan memperoleh hasil 400 m. Berapakah panjang pesawat itu jika diukur oleh pengamat di bumi?
11. Sebuah elektron bermassa $9,11 \times 10^{-31}$ kg bergerak dengan laju $0,75c$. Hitunglah besar momentum relativistiknya!
12. Sebuah benda yang mula-mula diam, meledak menjadi dua bagian yang masing-masing memiliki massa diam 1 kg serta bergerak saling menjauhi dengan kelajuan yang sama, yaitu $0,6c$. Berapakah massa diam benda mula-mula?
13. a. Hitung energi diam elektron ($m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg, $q = -e = -1,6 \times 10^{-18}$ C) dalam joule dan elektron volt!
b. Hitunglah laju elektron yang telah dipercepat oleh medan listrik, dari Seberapa cepatkah seharusnya suatu benda bergerak jika nilai γ nya $1,0$ persen lebih besar daripada γ ketika benda tersebut
14. Elektron dengan energi diam $0,511$ MeV bergerak dengan laju $v = 0,8c$. Hitunglah energi total, energi kinetik dan momentum elektron!
15. Dua orang A dan B adalah anak kembar. Pada umur 20 tahun A pergi ke ruang angkasa dengan pesawat yang lajunya $0,8 c$ dan kembali ke bumi pada saat B berumur 30 tahun. Berapakah umur B menurut A yang baru kembali?

Tugas Mengembangkan Soal

Pada tugas pengembangan soal ini Anda diminta untuk membuat soal USBN berdasarkan kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Soal yang dikembangkan disesuaikan dengan kurikulum yang digunakan oleh sekolah Anda (Kurikulum 2006



atau Kurikulum 2013) dengan materi sesuai dengan materi yang dibahas pada Kegiatan Pembelajaran 1 ini.

Prosedur Kerja

- Bacalah bahan bacaan berupa Modul Pengembangan Instrumen Penilaian di Modul G Kelompok Kompetensi Pedagogik.
- Pelajari kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan seperti pada Lampiran 1 dan 2.
- Buatlah kisi-kisi soal UN/USBN pada lingkup materi yang dipelajari sesuai format berikut pada Lampiran 3. (Sesuaikan dengan kurikulum yang berlaku di sekolah anda).
- Berdasarkan kisi-kisi diatas, buatlah soal UN/USBN pada lingkup materi yang dipelajari pada modul ini.
- Kembangkan soal-soal yang sesuai dengan konsep HOTS.
- Kembangkan soal Pilihan Ganda (PG) sebanyak 3 Soal
- Kembangkan soal uraian (Essay) sebanyak 3 Soal.
- Masing-masing soal dibuat dalam kartu soal seperti pada Lampiran 4 dan lampiran 5
- Sebagai acuan pengembangan soal yang baik Anda bisa menelaah soal tersebut secara mandiri atau dengan teman sejawat dengan menggunakan instrumen telaah soal seperti terlampir pada Lampiran 6 dan 7.

F. Rangkuman

Persamaan yang dikenal dengan Transformasi Relativitas Galilean.

$$r_B = r_A - v t$$

$$v_B = v_A - v$$

Teori relativitas khusus didasarkan pada dua postulat sebagai berikut.

Postulat I

Hukum-hukum fisika berlaku pada suatu kerangka koordinat S, berlaku juga bagi kerangka koordinat yang lain (S'), yang bergerak dengan kecepatan tetap relatif terhadap S.



Postulat II

Nilai cepat rambat cahaya di ruang hampa adalah mutlak/sama, tidak tergantung pada gerak pengamat maupun sumber cahaya, yaitu sebesar c

Relativitas penjumlahan kecepatan

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

v_1 = laju benda ke 1 terhadap bumi

v_2 = laju benda ke 2 terhadap benda ke 1

v = laju benda ke 2 terhadap bumi

Dilasi waktu (Pemuaian waktu)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Δt_0 = selang waktu yang diamati pada kerangka diam (diukur dari kerangka bergerak)

Δt = selang waktu pada kerangka bergerak (diukur dari kerangka diam)

Kontraksi Lorentz

Benda yang panjangnya L_0 , oleh pengamat yang bergerak sejajar dengan panjang benda dan dengan kecepatan v , panjangnya akan teramati

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

sebagai L .

L = panjang benda pada kerangka bergerak

L_0 = panjang benda pada kerangka diam



Massa dan Energi Relativistik

Massa benda yang teramati oleh pengamat yang tidak bergerak terhadap benda, berbeda dengan massa yang teramati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan v terhadap benda.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

m_0 = massa diam atau massa yang teramati oleh pengamat yang tidak bergerak terhadap benda.

m = massa relativistik = massa benda dalam kerangka bergerak atau massa yang teramati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan v terhadap tanah

Besaran energi kinetik

$$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

$$E_k = m c^2 - m_0 c^2$$

$$E_k = (m - m_0) c^2$$

$$E_k = E - E_0$$

$$E = \text{energi total} = m c^2$$

$$E_0 = \text{energi diam} = m_0 c^2$$

$$E_k = \text{energi kinetik benda}$$

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan latihan, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan membandingkan dengan kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika pencapaian Anda sudah melebihi 80%, silakan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 80%, sebaiknya Anda ulangi kembali kegiatan pembelajaran ini dengan lebih cermat, kreatif, disiplin dan jika memungkinkan diskusikan dengan rekan sejawat.



$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan:

90-100%	= baik sekali
80-89%	= baik
70-79%	= cukup
<70%	= kurang

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

FENOMENA KUANTUM

Ketidakmampuan Fisika klasik dalam menjelaskan beberapa fenomena fisis di antaranya fenomena radiasi benda hitam, efek fotolistrik, dan fenomena kalor jenis zat padat menimbulkan anomali dalam eksistensi fisika klasik yang mendorong fisikawan menemukan fisika modern, khususnya teori kuantum. Berikut akan dijelaskan beberapa kajian penting yang menjembatani teori fisika klasik (teori gelombang kontinyu) dengan teori kuantum (teori partikel diskrit) yakni, fenomena radiasi benda hitam, efek fotolistrik, dan efek Compton.

A. Tujuan

Setelah Anda membaca dan mempelajari modul ini secara mandiri/kerjasama disertai dengan sikap disiplin, kreatif, dan bertanggung jawab, Anda diharapkan dapat menganalisis secara kualitatif fenomena kuantum yang mencakup hakikat dan sifat-sifat radiasi benda hitam, efek fotolistrik dan efek Compton serta penerapannya.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator hasil belajar yang diharapkan dicapai adalah sebagai berikut.

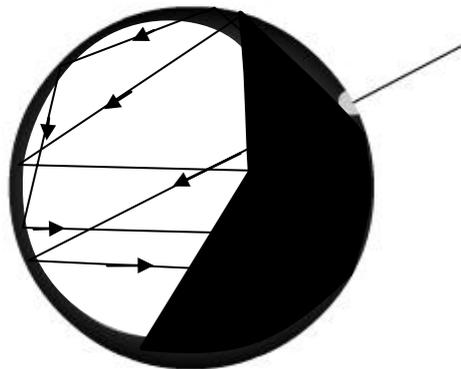
1. Menentukan perbandingan radiasi kalor berdasarkan suhu benda
2. Menentukan energi kinetik maksimum foto elektron berdasarkan grafik energi kinetik maksimum fungsi frekuensi cahaya
3. Menentukan jumlah foton yang dipancarkan berdasarkan spesifikasi suatu pemancar radio
4. Mengaplikasikan hukum *Planck's* tentang radiasi benda hitam dan hukum pergeseran Wien, dan Stefan-Bolzman
5. Mengevaluasi penerapan efek fotolistrik



C. Uraian Materi

1. Radiasi Benda Hitam

Benda hitam (*black body*) dalam bahasa fisika adalah obyek yang menyerap seluruh radiasi elektromagnetik yang jatuh kepadanya dan tidak ada radiasi yang dapat keluar atau dipantulkannya. Istilah benda hitam ini, pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Belanda, yang bernama Gustav Robert Kirchhoff pada tahun 1862. Sebagai contoh adalah bola logam berongga yang memiliki sebuah lubang yang mampu menyerap seluruh radiasi yang masuk. Analogi benda hitam (bola logam berongga yang memiliki sebuah lubang di dalamnya). Sebaliknya, apabila bola dipanaskan maka radiasi akan keluar dari rongga melalui lubang yang selanjutnya disebut radiasi benda hitam (*blackbody radiation*), seperti pada gambar berikut.

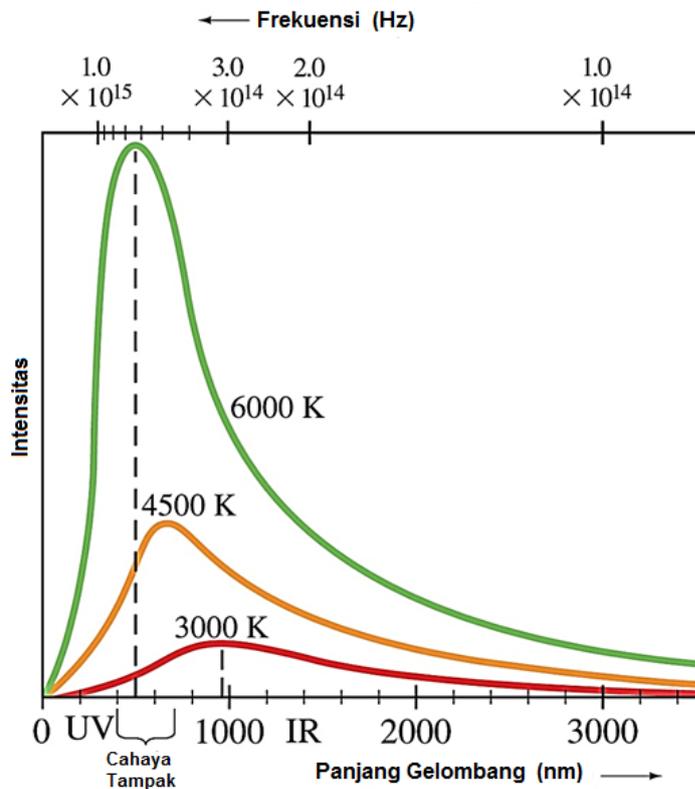


Gambar 2.1 Analogi benda hitam (bola logam berongga yang memiliki sebuah lubang)

Istilah benda hitam (*black body*) tidaklah harus merupakan benda yang benar-benar hitam. Benda hitam (*black body*) memancarkan cahaya/gelombang yang warna cahayanya tergantung pada suhu/ temperatur benda tersebut dan berdasarkan hukum radiasi termal dari *Kirchhoff*, semakin tinggi suhu benda, hanya bergantung pada suhu dinding rongga, radiasi yang dipancarkannya akan mendekati radiasi cahaya tampak, mulai dari merah, jingga, kuning, hijau, dan seterusnya,



dengan kecenderungan mengikuti kurva seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Kurva Radiasi Benda Hitam

Dalam kurva tersebut juga ditunjukkan bahwa semakin rendah temperatur benda hitam, puncak kurva akan semakin rendah dan mendekati ke daerah panjang gelombang/wavelength yang lebih besar, dan sebaliknya apabila suhu/temperatur benda hitam semakin tinggi, puncak kurva akan semakin tinggi, dan lebih mendekati daerah panjang gelombang/wavelength yang lebih kecil. Puncak kurva merupakan intensitas maksimum yang dapat dicapai oleh suatu radiasi, di mana intensitas ini bergantung pada temperatur/suhu benda hitam tersebut, dan tidak bergantung pada panjang gelombang radiasi.

Dalam menganalisis radiasi spektrum yang dipancarkan benda hitam, terdapat dua pandangan yang berbeda antara teori klasik dan teori kuantum. Analisis fisika klasik mengenai energi radiasi spektrum benda



hitam $\rho_T(f)$ dilakukan oleh Lord Rayleigh dan James Jeans yang dikenal dengan persamaan radiasi Rayleigh-Jeans.

Sumber radiasi/pancaran dari benda hitam berasal dari osilator-osilator harmonik dalam rongga. Satu osilator bisa dianggap sebagai satu mode getar, di mana untuk mendapatkan rapat energi osilator ($\rho_T(f)$) dalam sebuah benda hitam haruslah dicari terlebih dahulu energi rata-rata masing-masing mode getar (\bar{E}). Untuk mendapatkan nilai \bar{E} ini, ada beberapa rumusan yang digunakan sebagai berikut.

a. Rumusan *Rayleigh-Jeans*

Dalam menentukan \bar{E} , ***Rayleigh-Jeans*** menggunakan prinsip ekipartisi energi. Dikatakan bahwa osilator memiliki 2 derajat kebebasan. Sehingga energi rata-rata masing-masing mode getar adalah sebagai berikut.

$$\bar{E} = 2 \times \frac{1}{2} k_b T = k_b T$$

dengan:

$$k_b = \text{konstanta Boltzmann besarnya } 1,38 \times 10^{-23} \text{ J. K}^{-1}$$

$$T = \text{suhu mutlak (kelvin)}$$

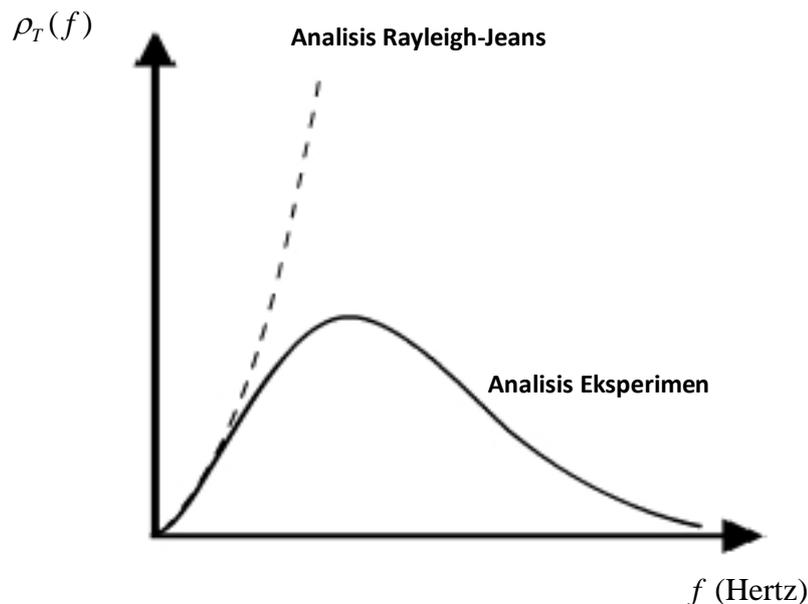
Besarnya rapat energi osilator sebagai fungsi frekuensi ($\rho_T(f)$) dalam sebuah benda hitam, diwujudkan oleh persamaan berikut

$$\rho_T(f) = \frac{N(f)}{V} \bar{E} df = \frac{8\pi k_b T}{c^3} f^2 df$$

Persamaan ini memang benar/sesuai kenyataan, tapi hanya berlaku untuk frekuensi rendah, sedangkan pada frekuensi tinggi analisis ***Rayleigh-Jeans*** menyimpang dari hasil eksperimen, seperti ditunjukkan pada gambar berikut, yang dikenal dengan “*ultraviolet catastrophe*”, hal ini membuktikan bahwa tafsiran ***Rayleigh-Jeans*** tentang radiasi benda hitam tidaklah benar. Ini merupakan salah satu kegagalan dari fisika klasik. Kegagalan teori klasik dalam menjelaskan fenomena radiasi benda hitam, semata-mata disebabkan karena



pandangan klasik yang mendasar tentang radiasi sebagai bentuk gelombang elektromagnetik yang merambat kontinu sebagaimana menurut Maxwell.



Gambar 2.3 Perbandingan grafik energi-frekuensi radiasi dari hasil eksperimen dengan grafik hasil analisis *Rayleigh-Jeans*

b. Rumusan *Planck*

Dalam menentukan \bar{E} , *Planck* tidak menggunakan prinsip ekipartisi energi. Dia beranggapan bahwa energi yang dimiliki osilator-osilator tersebut tidak kontinu, melainkan berharga diskrit, energi spektrum radiasi benda hitam terkuantisasi dalam paket-paket energi (kuanta) yaitu merupakan kelipatan dari $h\nu$, yaitu:

$$E = 0, hf, 2hf, 3hf, \dots, nhf$$

h = tetapan *Planck* besarnya $6,626 \times 10^{-34}$ J s

$$\bar{E} = \frac{\sum_n E_n e^{-E_n/k_b T}}{\sum_n e^{-E_n/k_b T}} = \frac{\sum_n nh\nu e^{-nh\nu/k_b T}}{\sum_n e^{-nh\nu/k_b T}}$$



Jika dimisalkan $\alpha = \frac{hf}{k_b T}$, maka persamaan (4) akan menjadi sebagai berikut.

$$\bar{E} = k_b T (-\alpha) \frac{\frac{d}{d\alpha} \sum_n e^{-n\alpha}}{\sum_n e^{-n\alpha}}$$

Selanjutnya dari hubungan $\sum_n e^{-n\alpha} = \frac{1}{1 - e^{-\alpha}}$, maka diperoleh:

$$\frac{d}{d\alpha} \sum_n e^{-n\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \frac{1}{1 - e^{-\alpha}} = -\frac{e^{-\alpha}}{(1 - e^{-\alpha})^2}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (6) dan (7) ke persamaan (5), maka akan didapat persamaan sebagai berikut

$$\bar{E} = \frac{\alpha k_b T}{e^{\alpha} - 1}$$

Oleh karena $\alpha = \frac{hf}{k_b T}$, maka akan didapat suatu persamaan untuk energi rata-rata sebuah osilator/mode getar sebagai berikut.

$$\bar{E} = \frac{hf}{e^{hf/k_b T} - 1}$$

Oleh karena energi rata-rata sebuah osilator diketahui, maka rapat energi seluruh osilator dalam benda hitam dapat diukur dengan persamaan berikut.

$$\rho_T(f) = \frac{N(f)}{V} \bar{E} df = \frac{8\pi}{c^3} f^2 \frac{hf}{e^{hf/k_b T} - 1} df$$

Persamaan ini ternyata sesuai dengan kenyataan yang diperoleh pada eksperimen, sehingga bencana ultraviolet yang diperkirakan akan terjadi, sesungguhnya tidak ada. Keberhasilan *Planck* ini dalam mengatasi kelemahan fisika klasik merupakan tonggak awal lahirnya fisika modern. Perbedaan kedua pandangan di atas dapat disimak pada tabel berikut.



Tabel 2.1 Perbedaan pandangan mengenai radiasi benda hitam

No	Pandangan Fisika Klasik (Teori Gelombang) tentang Radiasi Benda Hitam Melalui Analisis <i>Rayleigh-Jeans</i>	Pandangan Fisika Modern (Teori Kuantum) tentang Radiasi Benda Hitam Melalui Analisis <i>Planck</i>
1	<p><i>Rayleigh- Jeans</i> dalam teorinya berhipotesis bahwa energi tiap osilator gelombang tegak di dalam rongga dapat bernilai sembarang mulai nol sampai tak berhingga, bergantung pada amplitudonya.</p>	<p><i>Planck</i> mengajukan hipotesis bahwa energi tiap osilator tidak bernilai sembarang dari nol sampai tak berhingga, melainkan harus merupakan salah satu dari sederetan nilai diskrit yang terpisah secara seragam dengan interval $\Delta\varepsilon$</p>
2	<p>Energi rata-rata tiap osilator dihitung berdasarkan statistika Boltzmann yang menyatakan bahwa <i>sejumlah besar entitas fisis sejenis yang terbedakan dan berada pada kesetimbangan termal pada temperatur T, fraksi entitas fisis yang memiliki energi ε sebanding dengan faktor Boltzmann $\exp(-\varepsilon/k_B T)$.</i></p>	<p>Energi tiap osilator haruslah salah satu dari $0, \Delta\varepsilon, 2\Delta\varepsilon, n\Delta\varepsilon, \dots$ dengan $n = 1, 2, 3, \dots$</p> <p>Untuk menghasilkan energi rata-rata yang bergantung pada frekuensi, maka energi tiap osilator juga harus bergantung pada frekuensi. ini berarti $\Delta\varepsilon$ harus berbanding lurus terhadap f. Jika tetapan kesebandingan dilambangkan h energi tiap osilator haruslah salah satu dari nilai $\varepsilon_n = nhf$, dengan $n = 0, 1, 2, \dots$</p>
3	<p>Perhitungan energi rata rata melalui proses integrasi</p> $\langle \varepsilon \rangle = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon P(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\infty} P(\varepsilon) d\varepsilon} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon e^{-\varepsilon/k_B T} d\varepsilon}{\int_0^{\infty} e^{-\varepsilon/k_B T} d\varepsilon},$ <p>dengan $P(\varepsilon)$ menyatakan fungsi distribusi Boltzmann $\frac{1}{k_B T} e^{-\varepsilon/k_B T}$</p>	<p>Karena energi tiap osilator tidak bersifat kontinu maka penghitungan digunakan cara penjumlahan biasa</p> $\langle \varepsilon \rangle = \frac{\sum_n \varepsilon_n e^{-\varepsilon_n/k_B T}}{\sum_n e^{-\varepsilon_n/k_B T}} = k_B T \frac{\sum_n n \alpha e^{-n\alpha}}{\sum_n e^{-n\alpha}}$



No	Pandangan Fisika Klasik (Teori Gelombang) tentang Radiasi Benda Hitam Melalui Analisis <i>Rayleigh-Jeans</i>	Pandangan Fisika Modern (Teori Kuantum) tentang Radiasi Benda Hitam Melalui Analisis <i>Planck</i>
4	<p>Hasil perhitungan menunjukkan bahwa teori ini cocok untuk distribusi energi pada frekuensi rendah yang bernilai $k_B T$, namun pada frekuensi tinggi (daerah ultra violet) distribusi rapat energi spektral yang dihasilkan tidak cocok dengan eksperimen</p> <p>Perlu dicatat langkah-langkah yang dilakukan Rayleigh dan Jeans sepenuhnya tidak bertentangan dengan teori yang ada saat itu. Kegagalan ini sekaligus merupakan kegagalan fisika yang telah dikembangkan sampai saat ini. Peristiwa itu dalam sejarah fisika, dikenal sebagai bencana ultraviolet.</p>	<p>Hasil perhitungan menghasilkan penjelasan energi rata-rata tiap osilator haruslah bergantung pada frekuensinya. Pada frekuensi tinggi bernilai nol dan pada frekuensi rendah bernilai $k_B T$. Pernyataan tersebut dapat dijawab dengan mengamati nilai limit $\langle \varepsilon \rangle$ pada f mendekati ∞ pada f mendekati nol.</p> <p>Pencocokan dengan seluruh data eksperimen dilakukan dengan memilih nilai h. Hasil terbaik dari nilai tersebut adalah</p> $h = 6,634 \times 10^{-34} \text{ J.s.}$ <p>keberhasilan <i>Planck</i> dalam memecahkan masalah ini, khususnya yang berkaitan dengan tetapan h, sebagai awal lahirnya fisika kuantum</p>
5	<p>Hasil perhitungan <i>Rayleigh-Jeans</i></p> $\rho_T(f)dv = \frac{8\pi k_B T}{c^3} f^2 df$	<p>Hasil perhitungan <i>Planck</i></p> $\rho_T(f)dv = \frac{8\pi}{c^3} f^2 \frac{hf}{\exp(hf / k_B T) - 1} df$

2. Efek Fotolistrik

Penemuan efek fotolistrik merupakan tonggak sejarah perkembangan fisika kuantum. Pada saat itu orang-orang dihadapkan pada situasi yang mana paham klasik yang telah mereka yakini sebelumnya terpaksa dirombak menjadi paham baru. Konsepsi yang ada pada paham sebelumnya yaitu menyatakan bahwa cahaya tersebut merupakan sebuah gelombang. Paham baru yang muncul menyatakan bahwa cahaya sebagai partikel. Konsepsi cahaya sebagai partikel ini

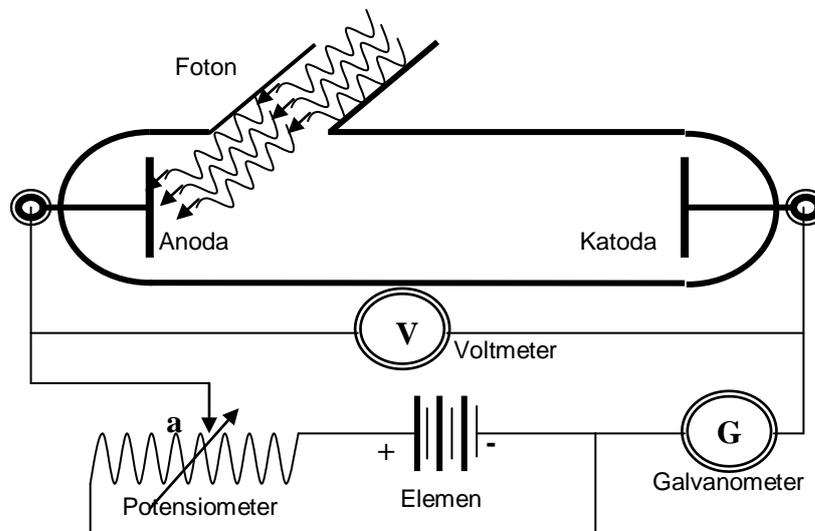


merupakan cikal bakal yang nantinya mampu menjelaskan gejala efek fotolistrik tersebut.

Paham baru ini menimbulkan polemik dimana paham sebelumnya yang memandang cahaya sebagai gelombang telah dibuktikan kehandalannya dalam menjelaskan fenomena/gejala difraksi, interferensi dan polarisasi cahaya namun gejala-gejala tersebut tidak mampu dijelaskan berdasarkan paham cahaya sebagai partikel. Oleh karena itu para ahli sepakat bahwa cahaya tersebut memiliki dualisme sifat yaitu cahaya sebagai gelombang dan partikel.

Penemuan gejala efek foto listrik ini diawali oleh eksperimen Heinrich Hertz melalui percobaan tabung lucutan. Ia mengemukakan bahwa lucutan elektrik akan lebih mudah jika cahaya ultraviolet dijatuhkan pada electron tabung lucutan. Ini membuktikan bahwa cahaya ultraviolet dapat melepaskan elektron dari permukaan logam. Pengamatan gejala efek fotolistrik ini kemudian dilanjutkan oleh *P. Lenard* dan secara teoritis dijelaskan oleh *Einstein*.

Alat efek fotolistrik terdiri atas dua plat logam (plat anoda yang bermuatan negatif dan plat katoda yang bermuatan positif) yang ditempatkan dalam tabung kaca yang dihampakan dan terpisah pada jarak tertentu, yang berfungsi untuk meminimalkan tabrakan antara elektron-foton dengan molekul gas, tabung kaca yang dilengkapi dengan jendela, yang terbuat dari bahan kuarsa, dimana melalui jendela inilah berkas cahaya monokromatis ditembakkan ke plat katode sehingga plat tersebut melepaskan elektron. Dalam rangkaian alat ini juga terdapat galvanometer yang digunakan untuk mendeteksi arus listrik yang dihasilkan, dan potensiometer diperlukan untuk mengatur beda potensial antara plat anode dan plat katode. Secara skematik perangkat untuk mempelajari efek fotolistrik adalah seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Skema perangkat percobaan efek fotolistrik

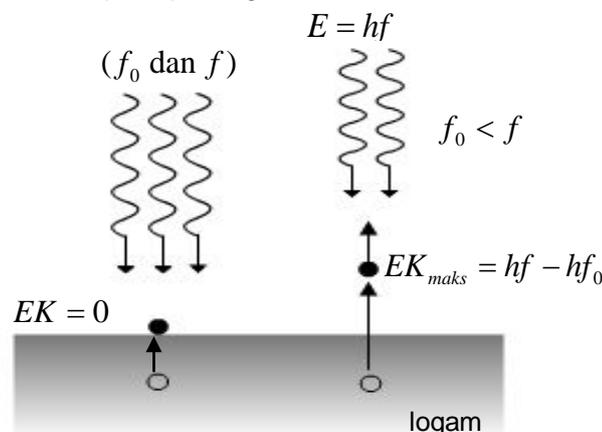
Fenomena efek fotolistrik terjadi ketika cahaya monokromatis yang ditembakkan menuju tabung yang selanjutnya mengenai pelat anoda yang potensialnya dibuat lebih besar dari potensial katoda. Untuk cahaya dengan frekuensi tertentu, ternyata galvanometer G mendeteksi adanya arus listrik. Hal ini menunjukkan bahwa elektron yang dipancarkan pelat anoda tersebut mampu mencapai pelat katoda, hal ini juga berarti bahwa ketika terlepas dari pelat anoda elektron sudah memiliki energi kinetik yang cukup besar untuk menembus potensial penghalang yang dipasang antara pelat anoda dan katoda, untuk menghentikan gerakan elektron ini diperlukan suatu potensial penghalang/ *stopping potensial*, V_s . Besarnya *stopping potensial* (V_s) ini dapat diatur dengan menggeser ke kiri atau ke kanan titik a pada potensiometer. Ketika kita menggeser titik a ke kiri berarti memperbesar hambatan potensiometer, sehingga akibatnya tegangan/potensial antara anoda dengan katoda mengecil, dan sebaliknya apabila titik a digeser ke kanan, hambatan potensiometer akan mengecil, akibatnya tegangan antara anoda dengan katoda membesar. Jika V diperbesar maka jumlah elektron yang mencapai pelat K akan berkurang sehingga arusnya menjadi semakin kecil. Hingga pada beda potensial (V) tertentu elektron-elektron ini tidak bergerak sehingga tidak ada arus yang mengalir. Potensial (V) ini disebut potensial pemberhenti yang dilambangkan dengan V_s .



Fenomena arus fotolistrik yang ditunjukkan pada eksperimen efek fotolistrik terdapat beberapa fenomena yang tidak dapat dijelaskan dengan teori fisika klasik, sebagai berikut.

- tidak adanya waktu tunda antara penyinaran sampai terjadinya arus fotoelektrik
- energi kinetik fotoelektron tidak bergantung pada intensitas sinar/foton sebagaimana menurut teori fisika klasik tetapi hanya bergantung pada frekuensi sinar/foton
- diperlukan frekuensi ambang untuk menghasilkan arus fotolistrik dan setiap jenis bahan/logam memiliki frekuensi ambang yang berbeda-beda
- kuat arus fotoelektrik dipengaruhi oleh intensitas penyinaran.

Dalam menjelaskan fenomena efek fotolistrik, Albert Einstein menggunakan teori kuantum sebagai landasan berpikir. Einstein mengemukakan bahwa energi yang dibawa oleh cahaya/sinar terdistribusi secara diskrit (terkuantisasi) tidak kontinu seperti yang diungkapkan dalam teori gelombang, sama artinya dengan menganggap bahwa cahaya/sinar berperilaku sebagai partikel (foton). Pada gambar berikut, cahaya yang merupakan paket energi (foton) yang bersifat seperti partikel tetapi tidak bermassa yang memiliki energi hf dengan $h = 6,634 \times 10^{-34}$ J.s dan f frekuensi cahaya yang digunakan, sehingga fenomena efek fotolistrik dapat dijelaskan dengan konsep tumbukan, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Permukaan logam yang disinari dengan frekuensi sinar tertentu (f_0 dan f)



Berdasarkan gambaran di atas, dapat diinterpretasikan bahwa energi cahaya/sinar datang mengenai permukaan logam diserap logam dalam bentuk paket-paket atau quanta yang disebut foton sebesar hf akan digunakan untuk:

- Melepaskan elektron yang terikat dalam atom (nilai energi ambang, hf_0 atau W).
- Menggerakkan elektron menuju permukaan logam (E_d).
- Melontarkan elektron dari permukaan logam (E_k).

Menurut hukum kekekalan energi, energi yang diterima elektro yang bersumber dari energi foton, $E = hf$, akan digunakan untuk

$$hf = hf_0 + (E_k + E_d)$$

dengan hf_0 atau W = energi ambang/fungsi kerja logam dan E_k = energi kinetik elektron setelah lepas dari permukaan logam

Berdasarkan persamaan tersebut terdapat beberapa kemungkinan, yaitu *Pertama*, jika elektron berada jauh dari permukaan, ada kemungkinan energi cahaya datang hanya digunakan untuk melepaskan elektron dari ikatan atom (hf_0) dan hanya untuk menggerakkan elektron menuju permukaan logam (E_d), sehingga ketika elektron sampai permukaan sudah kehilangan energi dan tidak dapat lepas dari permukaan logam, sehingga energi kinetiknya sama dengan nol ($E_k = 0$) atau kecepatan elektron lepas dari permukaan logam nol ($v = 0$), sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut.

$$hf = hf_0 + E_d$$

Kedua, Jika elektron berada di **permukaan logam**, maka tidak diperlukan energi elektron untuk menuju ke permukaan atau $E_d = 0$, sehingga energi cahaya datang hanya digunakan untuk melepaskan elektron dari ikatan atom (hf_0) dan hanya untuk menggerakkan elektron lepas dari permukaan logam (E_k), karena tetap maka energi kinetik elektron lepas dari permukaan logam akan maksimum



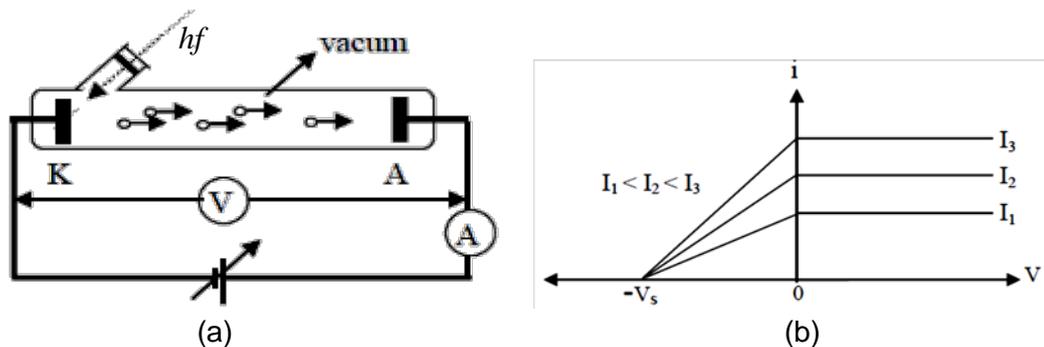
($E_{k\ max}$) dan kecepatan elektron lepas dari permukaan logam juga akan maksimum (v_{max}), sehingga **Einsten** merumuskan persamaan untuk **efek fotolistrik** sebagai berikut.

$$hf = hf_0 + E_{k\ max}$$

$$hf = hf_0 + eV_s$$

dengan, f_0 = frekuensi ambang cahaya/sinar datang agar dapat melepaskan elektron dari ikatan atom.

Ketika katoda disinari cahaya dengan frekuensi f , elektron-elektron akan terlontar keluar permukaan logam katoda K jika energi cahaya (hf) lebih besar dari energi ambang hf_0 logam katoda, walaupun tegangan antara katoda dan anoda $V = 0$ volt akan tetap timbul arus i . Ketika intensitas cahaya datang ditingkatkan dan panjang gelombang cahaya datang tetap, maka arus yang timbul juga meningkat, sehingga intensitas cahaya datang berbanding lurus dengan arus yang ditimbulkan. Ketika frekuensi cahaya datang diubah-ubah dan intensitas cahaya datang tetap, ternyata arus listrik yang timbul tidak berubah, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

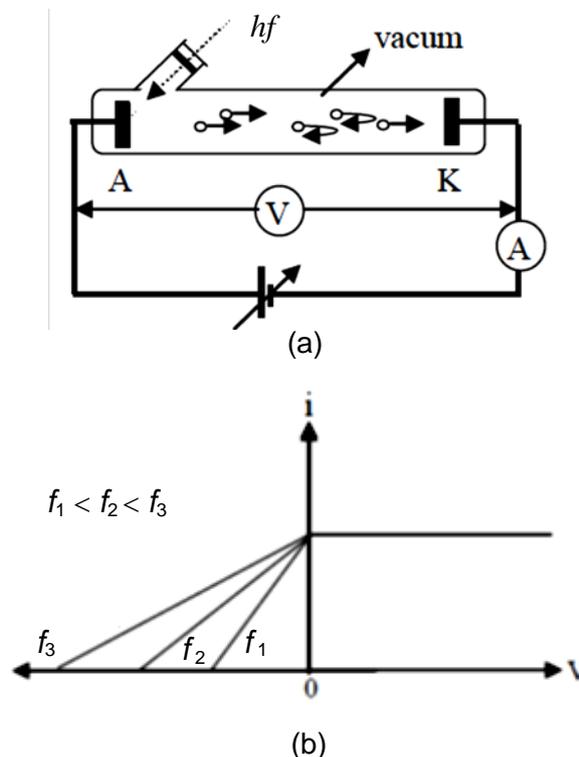


Gambar 2.6 Penyinaran katoda alat efek fotolistrik (a) skema alat (b) Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap arus fotolistrik

Gambar diatas menunjukkan skema efek fotolistrik ketika logam katoda disinari, dimana adanya keterkaitan antara arus fotolistrik dengan intensitas cahaya yang digunakan untuk menyinari logam katoda.

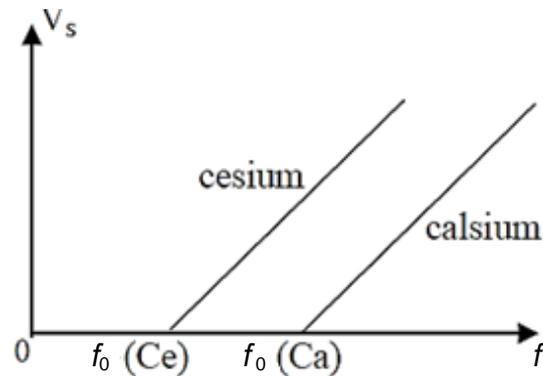


Jika sumber tegangan dibalik (logam yang disinari mempunyai potensial listrik lebih tinggi dari plat logam yang tidak disinari cahaya), maka logam yang disinari cahaya menjadi tegangan positif. Tegangan positif ini akan menarik kembali elektron yang terlontar dari permukaan logam katoda, di mana ketika beda potensial antara katoda dan anoda dinaikkan, maka elektron-elektron yang sampai ke katoda jumlahnya menurun, seperti pada gambar, sehingga arus listrik turun tajam menuju nol ampere pada tegangan tertentu (*stopping potensial, V_s*) antara katoda dan anoda. Ketika intensitas cahaya datang diubah-ubah dan panjang gelombang cahaya datang tetap, arus akan menuju nol pada tegangan, V_s , tertentu seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.7 Perubahan polaritas kutub-kutub alat efek fotolistrik (a) skema alat (b) Grafik penurunan arus fotolistrik untuk frekuensi yang berbeda, $f_1 < f_2 < f_3$

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa untuk sinar datang dengan frekuensi yang berbeda-beda, ketika tegangan listrik dinaikkan maka arus listrik akan turun menuju nol pada tegangan V_s yang berbeda-beda.



Gambar 2.8 Frekuensi ambang untuk calsium dan cesium

Ketika frekuensi diturunkan terus maka suatu ketika tidak ada pelontaran elektron dari logam anoda yang disinari, meskipun intensitas cahaya datang dinaikkan. Frekuensi minimum untuk melontarkan elektron suatu logam disebut frekuensi ambang.

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari eksperimen efek fotolistrik adalah sebagai berikut.

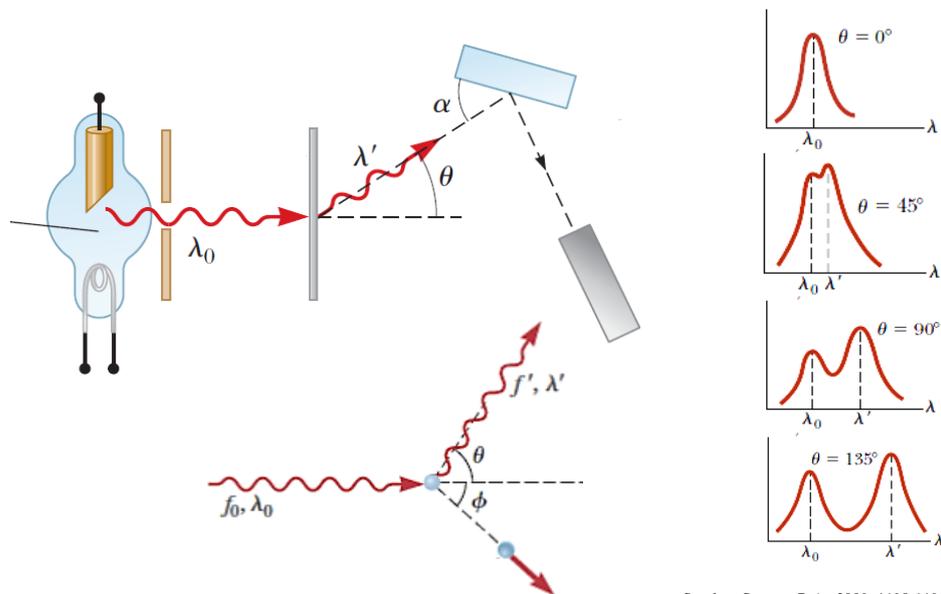
- Arus fotolistrik tergantung pada intensitas cahaya datang dan tidak tergantung panjang gelombang cahaya datang
- Kecepatan elektron yang terlontar dari permukaan logam tergantung pada frekuensi cahaya datang dan tidak tergantung intensitas cahaya datang.
- Energi kinetik maksimum elektron yang dipancarkan meningkat secara linier terhadap frekuensi cahaya datang
- Peristiwa pemancaran elektron adalah peristiwa spontan, tidak ada selisih waktu antara cahaya datang dengan peristiwa pemancaran elektron
- Terdapat frekuensi ambang (ν_0) atau frekuensi minimum cahaya datang agar elektron dapat terpancar/terlontar dari permukaan logam. Frekuensi ambang ini nilainya tergantung pada jenis material yang digunakan pada katoda/anoda.

3. Efek Compton

Cahaya, menurut teori kuantum, merupakan paket-paket energi yang disebut foton. Foton memiliki sifat-sifat partikel terkecuali



karakteristiknya yang tidak memiliki massa diam. Analogi ini kemudian digunakan untuk menjelaskan fenomena radiasi hamburan yang terjadi ketika sinar-X monokromatik diarahkan ke unsur ringan Carbon, sebuah eksperimen yang dilakukan oleh *Arthur Holly Compton*. Dalam eksperimennya, dengan skema eksperimen seperti pada gambar, Compton dapat menunjukkan bahwa ketika sinar-X monokromatik diarahkan ke unsur ringan Carbon, radiasi hamburan memiliki λ lebih panjang dari sinar datang (λ_0). Compton juga mengamati bahwa selisih antara kedua panjang gelombang tersebut meningkat terhadap sudut hamburan, peristiwa ini disebut **efek Compton**, seperti pada Gambar 2.9.



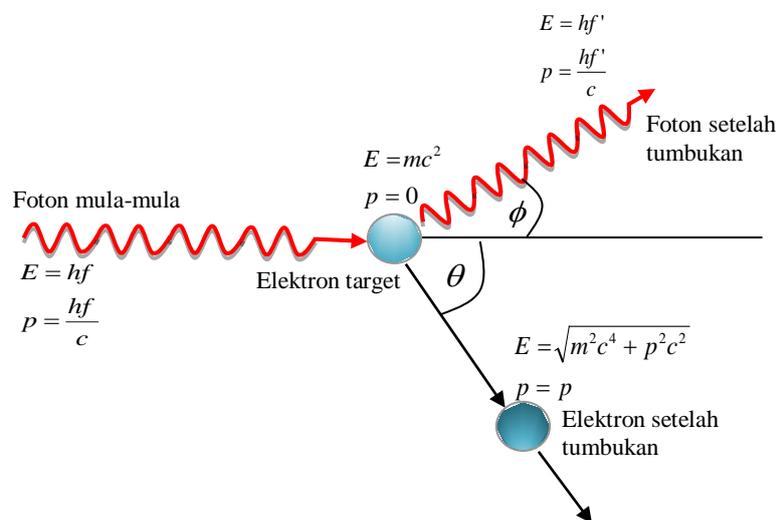
Sumber: Serway, R.A., 2009: 1198-1199

Gambar 2.9 Skema percobaan hamburan Compton dan grafik variasi sudut hamburan terhadap selisih antara panjang gelombang sinar X terhambur dengan panjang gelombang sinar X sebelum terhambur

Pada peristiwa hamburan sinar X yang menumbuk elektron di mana elektron diasumsikan mula-mula diam (dalam koordinat laboratorium). Sinar X yang bertumbukan dengan elektron akan diserap energinya oleh elektron sehingga setelah tumbukan, energi dari sinar X akan berkurang (dalam hal ini frekuensi sinar X akan berkurang atau panjang gelombangnya akan bertambah). Teori fisika klasik tidak



mampu menjelaskan fenomena ini karena fisika klasik menganggap sinar X berperilaku sebagai gelombang saja. Dari sudut pandang fisika klasik khususnya dalam mekanika, tumbukan hanya terjadi antar partikel bukan dengan gelombang. Berbeda dengan teori kuantum, sinar X dianggap sebagai foton yang berperilaku seperti partikel yang tidak bermassa sehingga teori kuantum memandang fenomena efek Compton sebagai fenomena tumbukan seperti halnya pada fenomena efek fotolistrik.



Energi foton yang berkurang = Peningkatan energi kinetik elektron, $hf - hf'$

Gambar 2.10 Gambaran proses tumbukan antara foton dengan elektron

Dalam teori relativistik, momentum dari suatu partikel yang tidak bermassa bergantung pada energi partikel tersebut. Yang diformulasikan:

$$E = pc$$

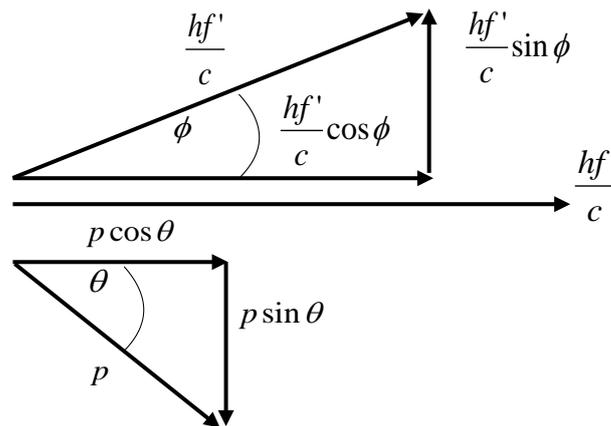
karena energi dari foton sebesar $h\nu$ maka momentum dari foton adalah:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c}$$

Perlu ditekankan bahwa momentum berbeda dengan energi, momentum merupakan kuantitas yang memiliki arah (besaran vektor)



sedangkan energi tidak. Dalam peristiwa tumbukan selalu berlaku hukum kekekalan momentum, momentum awal sama dengan momentum akhir. Analisis komponen-komponen vektor momentum dalam tumbukan foton-elektron dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.11 Analisis vektor momentum tumbukan foton-elektron pada efek Compton

Untuk momentum total arah mendatar searah gerakan foton mula-mula adalah sebagai berikut.

$$\frac{hf}{c} + 0 = \frac{hf'}{c} \cos \phi + p \cos \theta$$

Untuk arah tegak lurus nya:

$$0 = \frac{hf'}{c} \sin \phi - p \sin \theta$$

Kedua persamaan di atas menjadi:

$$pc \cos \theta = hf - hf' \cos \phi$$

$$pc \sin \theta = hf' \sin \phi$$

Apabila kedua persamaan dikuadratkan dan selanjutnya dijumlahkan akan menghasilkan persamaan berikut.

$$p^2 c^2 = (hf)^2 - 2(hf)(hf') \cos \phi + (hf')^2$$



Dalam teori relativitas, energi total suatu partikel diformulasikan sebagai berikut.

$$E = EK + mc^2$$

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

sehingga hubungan kedua persamaan itu menjadi,

$$(EK + mc^2)^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2 \text{ atau}$$

$$p^2 c^2 = EK^2 + 2mc^2 EK$$

dengan mensubstitusikan $EK = hf - hf'$ pada persamaan diatas maka akan diperoleh persamaan berikut.

$$p^2 c^2 = (hv)^2 - 2(hv)(hv') + (hv')^2 + 2mc^2 (hv - hv')$$

Subtitusikan persamaan di atas pada persamaan berikut.

$$p^2 c^2 = (hv)^2 - 2(hv)(hv') \cos \phi + (hv')^2$$

sehingga diperoleh,

$$2mc^2 (hf - hf') = 2(hf)(hf')(1 - \cos \phi)$$

Persamaan di atas akan menjadi lebih sederhana apabila dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{mc}{h} \left(\frac{v}{c} - \frac{v'}{c} \right) = \frac{v v'}{c c} (1 - \cos \phi)$$

karena $v/c = 1/\lambda$ dan $v'/c = 1/\lambda'$ maka persamaan tersebut di atas dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{mc}{h} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) = \frac{1 - \cos \phi}{\lambda \lambda'}$$

Dengan melakukan penyederhanaan pada persamaan di atas, akan diperoleh persamaan umum untuk efek Compton sebagai berikut.

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \phi)$$



Sedangkan kuantitas, $\lambda_c = \frac{h}{mc}$ yang besarnya $2,426 \times 10^{-12}$ meter atau $0,02426 \text{ \AA}$ disebut *panjang gelombang Compton*. Dengan menggunakan kuantitas ini, maka persamaan efek Compton menjadi:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \phi)$$

Secara fisis, efek Compton sebenarnya telah membuktikan kebenaran teori kuantum. Cahaya tidak semata-mata hanya merupakan gelombang elektromagnetik saja, tetapi dapat dipandang sebagai paket-paket energi yang terkuantisasi (foton-foton) yang berperilaku sebagai partikel atau memiliki karakteristik sebagai partikel, misalnya dapat mengalami tumbukan.

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari eksperimen efek Compton adalah sebagai berikut

- Panjang gelombang (λ') radiasi yang dihamburkan pada setiap sudut θ selalu lebih besar dari λ radiasi sinar datang.
- Selisih panjang gelombang ($\Delta\lambda$) tidak bergantung λ sinar-X datang dan pada sudut tetap hamburan adalah sama untuk semua unsur yang mengandung elektron tidak terikat (bebas) pada keadaan lain.
- Selisih panjang gelombang ($\Delta\lambda$) meningkat terhadap sudut hamburan θ dan mempunyai nilai maksimal pada $\theta = 180^\circ$

D. Aktivitas Pembelajaran

Untuk lebih memahami materi tentang metode pembelajaran Anda dapat membaca secara mandiri berbagai artikel, *hand out* atau sumber bacaan yang lebih lengkap. Setelah itu lakukan kegiatan sesuai lembar kegiatan yang tersedia, hasil kerja yang telah dikembangkan diskusikan dengan rekan sejawat dan sebaiknya perwakilan peserta mempresentasikan hasil kerjanya, peserta lain menyimak presentasi dengan cermat dan serius sebagai penghargaan kepada pembicara.



Lembar Kerja I2.01

KAJIAN TOPIK FISIKA KUANTUM

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta diklat mampu mengidentifikasi konsep-konsep penting topik Fisika Kuantum dalam bentuk peta pikiran

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang Fisika Kuantum
2. Identifikasi konsep-konsep penting yang ada pada topik Fisika Kuantum dan gambarkan dalam peta pikiran
3. Setelah selesai, presentasikan hasil diskusi kelompok Anda!
4. Perbaiki hasil kerja kelompok Anda jika ada masukan dari kelompok lain!

Lembar Kerja I2.02

LATIHAN SOAL

Tujuan Kegiatan: Melalui kerja mandiri/diskusi kelompok peserta diklat mampu menerapkan konsep-konsep Fisika Kuantum dalam berbagai permasalahan

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang topik Fisika Kuantum
2. Cermati soal-soal yang ada pada bagian **E. LATIHAN/KASUS/TUGAS** pada sub-bagian **Latihan Soal**
3. Kerjakan soal-soal secara mandiri!
4. Diskusikan dengan rekan sejawat jika Anda menemui kesulitan dalam mengerjakan soal-soal!
5. Kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan!

Lembar Kerja I2.03

TUGAS MENGEMBANGKAN SOAL

Tujuan Kegiatan: Melalui kerja mandiri peserta diklat mampu mengembangkan soal-soal USBN berdasarkan kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada materi Fisika Kuantum

Langkah Kegiatan:

1. Cermati prosedur pengembangan soal yang ada pada sub-bagian **E. LATIHAN/KASUS/TUGAS** pada sub-bagian **Tugas Mengembangkan Soal**
2. Kerjakan Tugas Mengembangkan Soal secara mandiri sesuai dengan prosedur yang disarankan dan dikumpulkan tepat pada waktunya!



E. Latihan/Kasus/Tugas

Setelah mempelajari materi secara mandiri dengan seksama, silahkan Anda mencoba mengerjakan tugas berikut, kaji secara mandiri selanjutnya diskusikan dalam kelompok dan kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan!

Latihan Soal

1. Cahaya matahari mencapai bumi setelah menempuh rata-rata $1,5 \times 10^{11} m$ pada laju $1,4 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$ pada permukaan yang tegak lurus arah cahaya. Anggaplah cahaya matahari monokromatik dengan frekuensi $5 \times 10^{14} Hz$. (a) Berapa banyak foton datang per detik pada setiap meter persegi pada permukaan bumi yang langsung menghadap ke matahari? (b) Berapa daya keluaran matahari, dan berapa banyak foton per detik yang dipancarkannya? (c) Berapa banyak foton per meter kubik dekat permukaan bumi?
2. Sebuah bola perak digantungkan pada seutas tali dalam kamar vakum dan cahaya ultraviolet yang panjang gelombangnya 2000 \AA diarahkan pada bola itu. Berapa besar potensial listrik yang timbul pada bola sebagai akibat penyinaran itu?
3. Panjang gelombang ambang pancaran fotoelektrik pada tungsten ialah 2300 \AA . Berapa besar panjang gelombang cahaya yang harus dipakai supaya electron dengan energi maksimum $1.5 eV$ terlempar ke luar?
4. Frekuensi ambang pancaran fotoelektrik dalam tembaga ialah $1.1 \times 10^{15} Hz$. Tentukan energi maksimum fotoelektron (dalam elektronvolt) bila cahaya yang berfrekuensi $1.5 \times 10^{15} Hz$ ditembakkan pada permukaan tembaga!
5. Berapa panjang gelombang maksimum yang dapat menyebabkan fotoelektron terpancar dari natrium? Berapa energy kinetic maksimum dari fotoelektron bila cahaya 2000 \AA jatuh pada permukaan natrium?
6. Cahaya dengan panjang gelombang 4.200 \AA jatuh pada permukaan cesium dengan laju $5 mW$. Bila efisiensi kuantum 10^{-4} , tentukan arus fotoelektrik yang terjadi!



7. Mesin sinar X yang menghasilkan sinar x $0,1 \text{ \AA}$. Berapa besar tegangan pemercepat yang dipakai?
8. Jarak antara bidang atomic yang bersebelahan dalam kalsit ialah $3 \times 10^{-10} \text{ m}$. berapa sudut terkecil antara bidang-bidang ini dengan dengan berkas sinar X $0,3 \text{ \AA}$ yang datang supaya sinar X yang terhambur dapat dideteksi?
9. Tunjukkan bahwa tidak mungkin terjadi sebuah foton menyerahkan seluruh energi dan momentumnya pada elektron bebas (Hal ini menerangkan mengapa efek fotolistrik hanya dapat terjadi bila foton menumbuk elektron terikat!)
10. Seberkas sinar X terhambur oleh electron bebas. Pada suhu 45° dari arah berkas itu sinar X yang terhambur memiliki panjang gelombang $0,022 \text{ \AA}$. Berapa besar panjang gelombang sinar X datang?

Tugas Mengembangkan Soal

Pada tugas pengembangan soal ini Anda diminta untuk membuat soal USBN berdasarkan kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Soal yang dikembangkan disesuaikan dengan kurikulum yang digunakan oleh sekolah Anda (Kurikulum 2006 atau Kurikulum 2013) dengan materi sesuai dengan materi yang dibahas pada Kegiatan Pembelajaran 1 ini.

Prosedur Kerja

- Bacalah bahan bacaan berupa Modul Pengembangan Instrumen Penilaian di Modul G Kelompok Kompetensi Pedagogik.
- Pelajari kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan seperti pada Lampiran 1 dan 2.
- Buatlah kisi-kisi soal UN/USBN pada lingkup materi yang dipelajari sesuai format berikut pada Lampiran 3. (Sesuaikan dengan kurikulum yang berlaku di sekolah anda).
- Berdasarkan kisi-kisi diatas, buatlah soal UN/USBN pada lingkup materi yang dipelajari pada modul ini.
- Kembangkan soal-soal yang sesuai dengan konsep HOTS.
- Kembangkan soal Pilihan Ganda (PG) sebanyak 3 Soal



- Kembangkan soal uraian (Essay) sebanyak 3 Soal.
- Masing-masing soal dibuat dalam kartu soal seperti pada Lampiran 4 dan lampiran 5
- Sebagai acuan pengembangan soal yang baik Anda bisa menelaah soal tersebut secara mandiri atau dengan teman sejawat dengan menggunakan instrumen telaah soal seperti terlampir pada Lampiran 6 dan 7.

F. Rangkuman

Energi yang dimiliki osilator bersifat diskrit, energi spektrum radiasi benda hitam terkuantisasi dalam paket-paket energi (kuanta) dan merupakan kelipatan dari hf , yaitu:

$$E = 0, hf, 2hf, 3hf, \dots, nhf$$

dengan h = tetapan *Planck* besarnya $6,626 \times 10^{-34}$ J s

Rapat energi seluruh osilator dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\rho_T(f) = \frac{N(f)}{V} \bar{E} df = \frac{8\pi}{c^3} f^2 \frac{hf}{e^{hf/k_bT} - 1} df$$

Beberapa hal yang berkaitan dengan efek fotolistrik sebagai berikut.

- Arus fotolistrik tergantung pada intensitas cahaya datang dan tidak tergantung panjang gelombang cahaya datang
- Kecepatan elektron yang terlontar dari permukaan logam tergantung pada frekuensi cahaya datang dan tidak tergantung intensitas cahaya datang.
- Energi kinetik maksimum elektron yang dipancarkan meningkat secara linier terhadap frekuensi cahaya datang
- Peristiwa pemancaran elektron adalah peristiwa spontan, tidak ada selisih waktu antara cahaya datang dengan peristiwa pemancaran elektron
- Terdapat frekuensi ambang (f_0) atau frekuensi minimum cahaya datang agar elektron dapat terpancar/terlontar dari permukaan logam.



Frekuensi ambang ini nilainya tergantung pada jenis material yang digunakan pada katoda/anoda.

Persamaan umum untuk efek Compton

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \phi)$$

karena panjang gelombang Compton

$$\lambda_c = \frac{h}{mc} = 2,426 \times 10^{-12}$$

maka persamaan efek Compton menjadi:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos \phi)$$

Beberapa hal yang berkaitan dengan efek *Compton* sebagai berikut.

- Panjang gelombang (λ') radiasi yang dihamburkan pada setiap sudut θ selalu lebih besar dari λ radiasi sinar datang.
- Selisih panjang gelombang ($\Delta\lambda$) tidak bergantung λ sinar-X datang dan pada sudut tetap hamburan adalah sama untuk semua unsur yang mengandung elektron tidak terikat (bebas) pada keadaan lain.
- Selisih panjang gelombang ($\Delta\lambda$) meningkat terhadap sudut hamburan θ dan mempunyai nilai maksimal pada $\theta = 180^\circ$

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan latihan, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan membandingkan dengan kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika pencapaian Anda sudah melebihi 80%, silakan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 80%, sebaiknya Anda ulangi kembali kegiatan pembelajaran ini dengan lebih cermat, kreatif, disiplin dan jika memungkinkan diskusikan dengan rekan sejawat.



$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan:	90-100% = baik sekali
	80-89% = baik
	70-79% = cukup
	<70% = kurang

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

TEORI ATOM

Keingintahuan manusia terhadap diri dan lingkungannya mendorong manusia untuk terus menerus berpikir dan melakukan percobaan untuk memenuhi rasa ingin tahunya. Salah satu yang paling memicu rasa ingin tahu manusia adalah tentang karakteristik sebuah materi/zat/benda atau diri manusia itu sendiri. Mengapa benda/zat/materi memiliki sifat-sifat yang berbeda? Faktor-faktor apakah yang menyebabkan benda/zat/materi memiliki sifat/karakteristik yang berbeda-beda? Telah banyak usaha, teori ataupun percobaan yang dilakukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, beberapa diantaranya adalah yang dikemukakan oleh J.J Thomson, Rutherford dan Bohr. Pada modul ini Anda diajak untuk memahami pemikiran-pemikiran berkaitan tentang atom, walaupun teori-teori tersebut masih memiliki kekurangan-kekurangan untuk menjelaskan atom secara menyeluruh.

A. Tujuan

Setelah Anda membaca dan mempelajari modul ini secara mandiri/kerjasama disertai dengan sikap disiplin, kreatif, dan bertanggung jawab, Anda diharapkan dapat memahami perkembangan teori atom.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator hasil belajar yang diharapkan dapat dicapai adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan model atom Thomson
2. Mendeskripsikan gaya-gaya yang bekerja pada elektron yang mengelilingi inti pada model atom Rutherford
3. Mendeskripsikan kelemahan model atom Rutherford
4. Mendeskripsikan postulat Bohr
5. Mendeskripsikan kelemahan model atom Bohr
6. Mendeskripsikan spektrum atom hidrogen



7. Mendeskripsikan proses terjadinya spektrum atom hidrogen
8. Menginterpretasikan percobaan Franck-Hertz

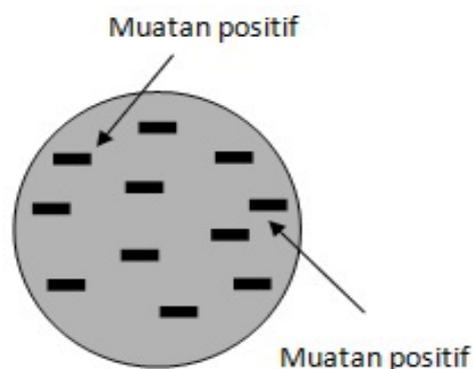
C. Uraian Materi

1. Perkembangan Teori Atom

Pada awalnya orang menganggap materi (zat) bersifat kontinu. Tetapi hasil pengamatan dan penemuan-penemuan berikutnya seperti penemuan muatan elementer melalui percobaan tetes minyak Milikan dan percobaan simpangan sinar katoda memaksa orang untuk mulai memikirkan bahwa materi itu bersifat diskrit. Ide pertama mengenai bagian zat yang terkecil diungkapkan oleh dua orang flisuf Yunani yang kemudian menamakan zat terkecil itu dengan istilah atom (*a* = tidak, *tomos* = dibagi). Dalam bab ini akan dibahas mengenai model atom menurut perkembangan penemuannya. Model atom yang dikemukakan tidak ada yang sia-sia meskipun realitas kebenarannya diragukan. Model atom yang terdahulu menjadi landasan bagi pengembangan model atom berikutnya.

a. Model Atom Thomson

JJ. Thomson dapat membuktikan adanya muatan diskrit melalui percobaan sinar katoda. Muatan yang kecil itu terkait dengan massa yang diskrit juga, sehingga menjadi bagian yang tak terpisahkan dari partikel. Partikel inilah yang kemudian kita kenal dengan elektron.



Gambar 3.1 Model atom Thomson

Berdasarkan penemuannya ini kemudian Thomson pada tahun 1898 mengusulkan suatu model atom yang kemudian dikenal sebagai model



atom Thomson. Thomson menganggap bahwa suatu atom terdiri dari suatu "bola" yang memuat sebagian besar massa atom, dengan muatan positif yang terbesar secara merata yang terdistribusi di seluruh bola itu. Kemudian dalam bola itu terdapat elektron (muatan negatif) yang berkedudukan di titik-titik tertentu dalam bola. Muatan negatif ini tidak tersebar dalam ruang.

Dalam model Thomson ini belum ditemukan konsep mengenai inti atom, karena baru konsep tentang bola atom. Model ini juga biasa dikenal sebagai model Roti Kismis, dimana kismis merepresentasikan muatan negatif yang diskritif dengan massa terbatas.

Dengan menggunakan besaran-besaran makro yang sudah diketahui maka dapat diperkirakan ukuran atom. Misalkan untuk tembaga dengan berat atom 63,5, massa jenis $8,92 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ dan atom-atom tembaga tersebut berbentuk kubus dengan panjang sisi-sisinya a , volume V_0 . $V_0 = a^3$, maka volume perkilogram atom tembaga adalah:

$$V_0 = 63,5 / (8,92 \times 10^3) \text{ m}^3 = 7,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Volume per atom dapat diperkirakan dengan menggunakan bilangan Avogadro, $N_A = 6,02 \times 10^{26} / \text{kg atom}$.

$$\overline{V_0} = V_0 / N_A = 1,18 \times 10^{-29} \text{ m}^3$$

sehingga diperoleh

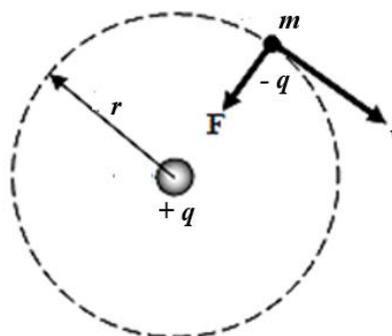
$$a = (1,18 \times 10^{-29})^{1/2} \sim 2,3 \times 10^{-10} \text{ m} = 2,3 \text{ \AA} \dots\dots\dots(1)$$

b. Model Atom Rutherford

Model atom Rutherford lahir menggantikan model atom Thomson yang telah diteguhkan secara meyakinkan oleh sebuah eksperimen, memberi gambaran mengenai sebuah inti kecil yang bermuatan positif dan massif yang dilingkungi pada jarak yang relatif besar oleh elektron, sehingga atom secara keseluruhan bermuatan netral. Rutherford bahkan mampu menaksir ukuran atom dan inti atom. Rutherford mengkalkulasikan bahwa sebuah atom dapat memiliki diameter sekitar $1 \times 10^{-8} \text{ cm}$ dan intinya berdiameter



sekitar 1×10^{-13} cm. Rutherford juga menemukan bahwa massa proton sekitar 1,836 kali massa elektron.



Gambar 3.2 Model atom hidrogen menurut Rutherford

Elektron-elektron pada model atom Rutherford tidak mungkin diam di tempat, karena tidak ada sesuatu pun yang dapat mempertahankannya melawan gaya tarikan listrik dari inti atom berupa gaya Coulomb. Untuk mengimbangi gaya tersebut, maka elektron harus bergerak melingkar mengitari inti atom seperti bumi mengitari matahari.

Misalkan jarak elektron dari inti atom adalah r , maka gaya Coulomb pada elektron adalah:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \dots\dots\dots (2)$$

yang arahnya menuju ke inti atom. Karena elektron bergerak melingkar, maka elektron mendapat gaya sentripetal sebesar :

$$F_s = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (3)$$

dimana v adalah kecepatan linear elektron mengitari inti atom. Syarat kemantapan orbit ditunjukkan dengan $F_e = F_s$, maka :

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (4)$$

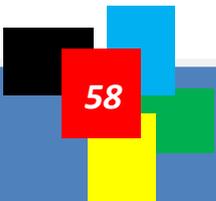


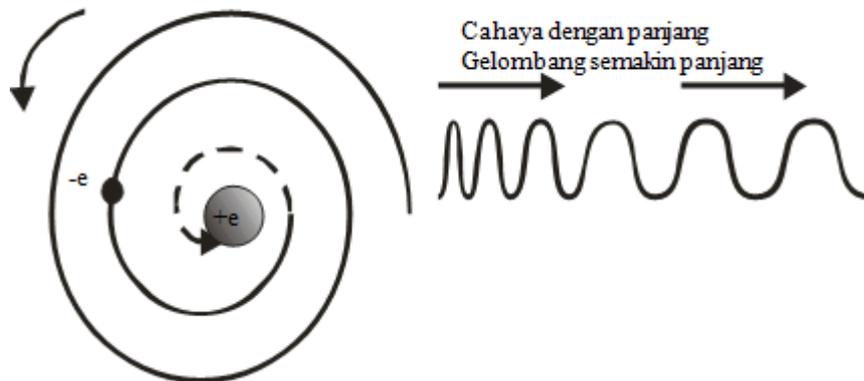
Karena geraknya, elektron mempunyai energi kinetik sebesar $K = \frac{1}{2}mv^2$ dan karena berada di dalam daerah medan listrik inti atom, elektron mempunyai energi potensial sebesar $V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$. Dengan demikian energi total dari elektron adalah :

$$E = K + V$$
$$E = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \dots\dots\dots(5)$$

Energi total elektron bertanda negatif, hal ini berlaku untuk setiap elektron atomik dan mencerminkan bahwa elektron terikat di dalam inti atom. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mengeluarkan elektron dari dalam inti atom diperlukan energi sebesar E . Dan bila r semakin kecil, maka elektron akan semakin kuat terikat dengan inti atom, sedangkan jika r semakin besar, maka ikatan dengan inti atom semakin kecil sehingga elektron mudah lepas dari atom.

Seperti yang kita ketahui bahwa benda-benda yang bergerak melingkar akan mendapat percepatan sentripetal. Menurut teori elektromagnetik Maxwell dikemukakan bahwa setiap benda bermuatan listrik yang mendapat percepatan akan memancarkan gelombang elektromagnet. Karena gelombang menjalar membawa energi, maka energi benda bermuatan listrik yang bergerak melingkar akan berkurang. Begitu pula halnya yang terjadi pada elektron yang mengitari inti atom tadi. Dengan adanya percepatan sentripetal, maka elektron bergerak mengitari inti atom sambil memancarkan gelombang elektromagnet. Akibatnya, energi elektron berkurang dan dari persamaan (5) dapat terlihat bahwa dampak berkurangnya energi elektron mengakibatkan jari-jari elektron mengitari inti atom juga berkurang. Dengan kata lain, lintasan elektron mengelilingi inti atom tidak berupa lingkaran lagi melainkan spiral. Hingga akhirnya elektron bersatu dengan inti atom dan kembali lagi ke model atom Thomson.





Gambar 3.3 **Ilustrasi dampak dari Model atom hidrogen menurut Rutherford**

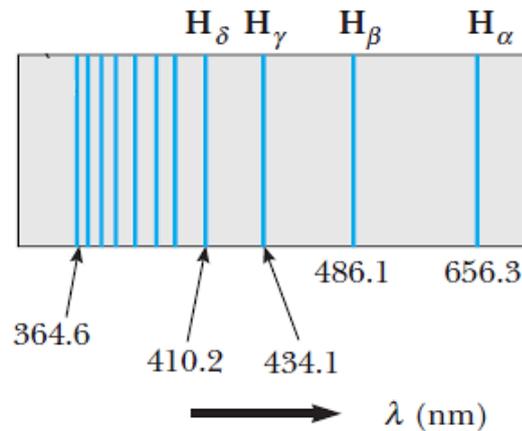
Kelemahan model atom Rutherford adalah sebagai berikut.

- Tidak dapat menjelaskan kestabilan atom
- Tidak dapat menjelaskan spektrum garis atom Hidrogen

Meskipun model atom Rutherford berhasil mengakomodasi kasus hamburan partikel alfa, tetapi bertentangan dengan kenyataan bahwa atom hanya memancarkan radiasi pada keadaan tertentu saja. Inilah kelemahan model atom Rutherford sehingga perlu dicari model lain yang lebih baik.

Spektrum atom hidrogen

Pengamatan garis spektrum yang ditimbulkan oleh suatu atom gas merupakan kunci bagi penyelidikan struktur atom gas tersebut. Unsur yang paling sederhana dalam alam adalah atom hidrogen. Pada sebuah eksperimen gas hidrogen ditempatkan dalam sebuah tabung lucutan gas. Tabung lucutan gas tersebut diberi beda potensial yang tinggi, sehingga terjadi lucutan muatan listrik. Gas hidrogen menjadi bercahaya dan memancarkan cahaya merah kebiru-biruan. Cahaya ini dapat dianalisis dengan sebuah spektrograf (alat untuk menyelidiki spektrum). Pada plat foto akan teramati deretan garis-garis cahaya. Setiap garis menampilkan sebuah panjang gelombang cahaya yang diberikan oleh sumber cahaya. Pada gambar berikut menunjukkan spektrum garis yang diperoleh dalam daerah cahaya tampak.



Gambar 3.4 Spektrum garis atom hidrogen

Spektrum garis dalam cahaya tampak terdiri dari empat garis, yaitu 410,2 nm, 434,1 nm, 486,2 nm, dan 656,3 nm. Pada tahun 1884, J.J. Balmer, seorang ahli fisika Swiss, menyatakan bahwa panjang gelombang dari spektrum atom hidrogen tersebut dapat ditampilkan dengan satu rumus tunggal, yakni :

$$\lambda_n = 364,6 \cdot \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \text{ nm, dengan } n = 3,4,5,6,\dots \dots (6)$$

Pada tahun 1890, Rydberg menemukan rumus serupa pada unsur-unsur alkali seperti Li, Na, K, Cs. Beliau juga mengusulkan bahwa rumus deret dapat ditulis sebagai perbedaan antara dua variabel (peubah). Untuk **deret Balmer** spektrum hidrogen dinyatakan dengan rumus :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ dengan } n = 3,4,5,6,\dots \dots (7)$$

dengan $R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Deret **Balmer** bukanlah satu-satunya spektrum garis yang dihasilkan oleh atom-atom hidrogen. Deret lainnya didapatkan dalam daerah ultraungu, dengan batas panjang gelombang antara 121,6 dan 91,2 nm. Daerah ini disebut **deret Lyman**, sesuai dengan nama penemunya. **Deret** lainnya



ditemukan dalam daerah inframerah dinamakan sesuai dengan penemunya, yakni **Paschen**, **Brackett**, dan **Pfund**.

Secara umum, rumus deret dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \text{ dengan } n < m \dots\dots\dots(8)$$

Untuk deret **Lyman**, $n = 1$; deret **Balmer**, $n = 2$; deret **Paschen**, $n = 3$; deret **Brackett**, $n = 4$; dan deret **Pfund**, $n = 5$. Kelima deret ini dapat ditunjukkan pada perumusan berikut ini ;

$$\text{Lyman: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right), \text{ dengan } m = 2, 3, 4, \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{Balmer: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \text{ dengan } m = 3, 4, 5, \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{Paschen: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right), \text{ dengan } m = 4, 5, 6, \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{Bracket: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right), \text{ dengan } m = 5, 6, 7, \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{Pfund: } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2} \right), \text{ dengan } m = 6, 7, 8, \dots\dots\dots(13)$$

c. Model Atom Bohr

Hasil yang telah diperoleh oleh Rutherford mendorong Niels Bohr seorang ahli fisika lulusan Kopenhagen yang melakukan penelitian di Cavendish Laboratory, Cambridge University pada tahun 1911 untuk mengungkapkan pemikirannya berkaitan dengan model atom sebagai berikut.

1. Karena radiasi yang dipancarkan oleh atom itu terkuantitasi, maka seharusnya sistem atom yang menjadi sumber pancaran radiasi itu terkuantitasi juga



2. Apabila sistem atom memancarkan energi kuantum $h\nu$, maka sistem atom akan kehilangan energi sebesar itu pula
3. Karena pancaran energi butir b, maka beda energi antara berbagai tingkatan energi yang dimiliki sistem atom akan memiliki harga-harga tertentu.

Dengan jalan pikiran ini maka konsep mekanika baru yang menganggap bahwa dalam atom terdapat kestabilan. Dalam keadaan stabil (dimana elektron tidak berpindah tingkat energinya) maka elektron bergerak dalam lingkaran (atau eliptik) mengelilingi inti atom.

Pada tahun 1913, Niels Bohr mengemukakan pendapatnya tentang atom yang kemudian dikenal dengan **model atom Bohr**. Dengan tetap mempertahankan pendapat **Rutherford** tentang atom dan memanfaatkan **teori kuantum Planck** serta **konsep foton dari Einstein**, Bohr mengemukakan postulatnya :

Postulat 1.

Atom hidrogen terdiri dari sebuah elektron yang bergerak dalam suatu lintas edar berbentuk lingkaran mengelilingi inti atom, gerak elektron tersebut dipengaruhi oleh gaya Coulomb sesuai dengan kaidah mekanika klasik

Postulat 2.

Lintas edar elektron dalam atom hidrogen yang mantap, hanyalah mempunyai harga momentum angular yang merupakan kelipatan dari tetapan planck dibagi 2π .

$$L = (n h) / 2\pi$$

Dimana n adalah bilangan bulat, h adalah konstanta Planck

Postulat 3.

Dalam lintas edar yang mantap, elektron yang mengelilingi inti atom tidak memancarkan energi elektomagnetik, dalam hal ini energi totalnya E, tidak berubah.

Postulat 4.

Energi elektomagnetik dipancarkan oleh sistem atom, apabila suatu elektron yang melintasi orbit mantap dengan energi E_i , pindah ke



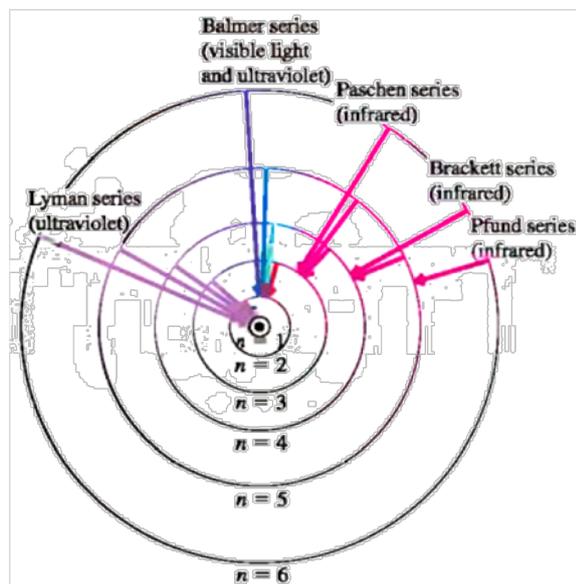
suatu orbit mantap lainnya E_f , maka pancaran energi elektromagnetiknya memiliki frekuensi ν yang besarnya adalah:

$$\nu = (E_i - E_f)/h$$

Postulat-postulat tersebut menjelaskan bahwa:

- postulat 1 memberikan struktur atom hidrogen, dan gaya yang bekerja antara inti atom dan elektron.
- Postulat 2 menjelaskan kuantisasi atom, yang terkuantisasi adalah momentum angular L , dan kuantisasi ini juga mengkuantisasi orbit elektron.
- Postulat 3, menjelaskan bahwa pada orbit yang mantap tidak terjadi pemancaran energi elektromagnetik.
- Postulat 4, menjelaskan mengenai frekuensi yang dihasilkan akibat transisi dari satu tingkat energi ke tingkat energi lainnya.

Gambar berikut memperlihatkan 5 buah orbit atau lintasan elektron, tetapi secara teoritis sebenarnya banyaknya lintasan elektron boleh berapapun.



Gambar 3.5 Model atom Bohr untuk Hidrogen



Momentum sudut elektron atom hidrogen terhadap pusat lintasan merupakan kelipatan dari bulat dari $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ dengan h adalah konstanta Planck. Bila v adalah kecepatan linear elektron dan r adalah jari-jari lintasan pada suatu keadaan stasioner, maka momentum sudut elektron terhadap pusat lintasan adalah mvr , sehingga diperoleh persamaan berikut.

$$mvr = n\hbar = n \frac{h}{2\pi} ; n = 1,2,3,\dots\dots\dots(14)$$

Elektron ketika mengelilingi inti memiliki gaya sentripetal F_s dan gaya Coulomb F_e yang besarnya sama sehingga kita peroleh persamaan berikut.

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}} \dots\dots\dots(15)$$

$$r_n = n \frac{h}{2\pi m v} = \frac{h\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr_n}}{2\pi m e} n \dots\dots\dots(16)$$

$$r_n^2 = \frac{h^2 4\pi\epsilon_0 m r_n}{4\pi^2 m^2 e^2} n^2 \dots\dots\dots(17)$$

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} n^2 \dots\dots\dots(18)$$

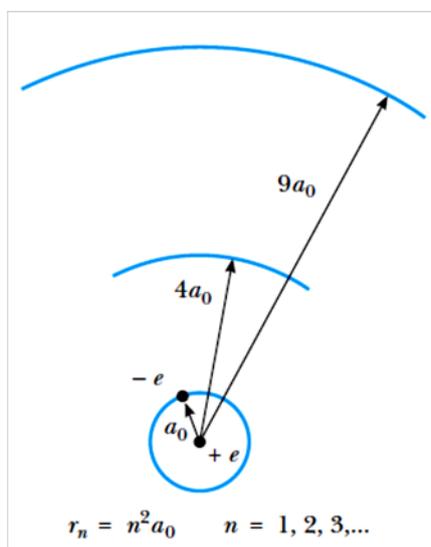
dengan $a_0 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = 0,0529 \text{ nm}$ disebut jari-jari Bohr.

Dengan demikian, jari-jari lintasan elektron dinyatakan ke dalam jari-jari Bohr menjadi:

$$r_n = a_0 n^2 ; n = 1,2,3,\dots\dots\dots(19)$$



Berdasarkan persamaan tersebut dapat digambarkan jari-jari lintasan elektron pada atom hidrogen sebagai berikut.



Gambar 3.6 Jari-jari Lintasan elektron atom hidrogen menurut teori atom Bohr

Dari Gambar tersebut diatas terlihat untuk $n = 1 \rightarrow r = a_0$, sedangkan untuk $n = 2 \rightarrow r = 4a_0$, dan untuk $n = 3 \rightarrow r = 9a_0$ dan seterusnya mengikuti persamaan $r_n = n^2 a_0$ dengan $n = 1, 2, 3, \dots$

Karena jari-jari lintasan elektron terkuantisasi, maka energi total elektron juga terkuantisasi, dan n disebut *bilangan kuantum*. Besarnya energi total elektron adalah sebagai berikut.

$$E = K + V$$

$$E = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

sehingga :

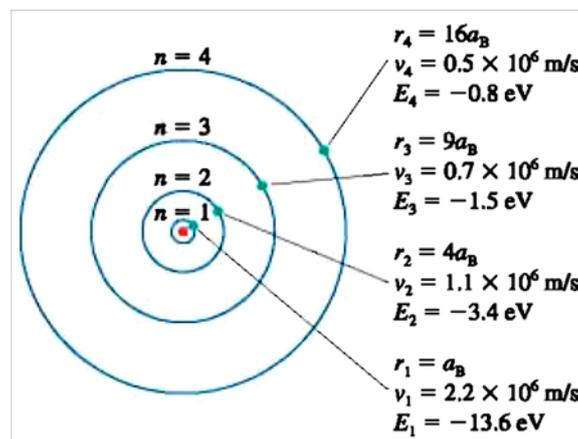
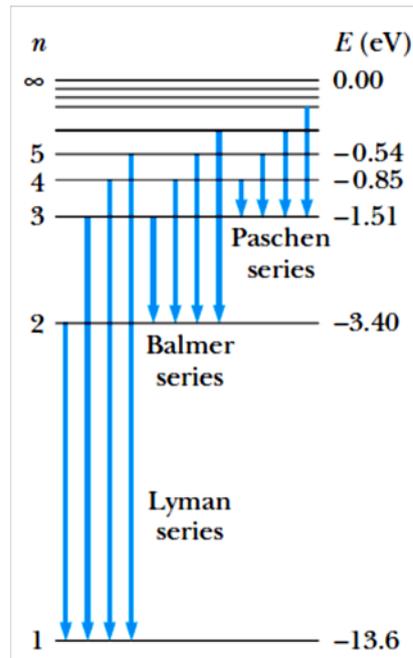
$$E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} \quad \text{atau} \quad E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_0} \frac{1}{n^2} \dots\dots\dots(20)$$

bila konstanta-konstanta digantikan dengan nilainya masing-masing, maka menjadi :



$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}; \quad \text{dengan } n = 1, 2, 3, \dots \dots \dots (21)$$

Dengan diagram tingkat energi atom hidrogen dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.7 Diagram tingkat energi atom hidrogen

Elektron yang berada pada keadaan stasioner dengan energi E_n dikatakan berada pada *tingkat energi* E_n . Bila elektron pindah dari satu tingkat energi ke tingkat energi yang lain, dikatakan bahwa elektron melakukan *transisi*.



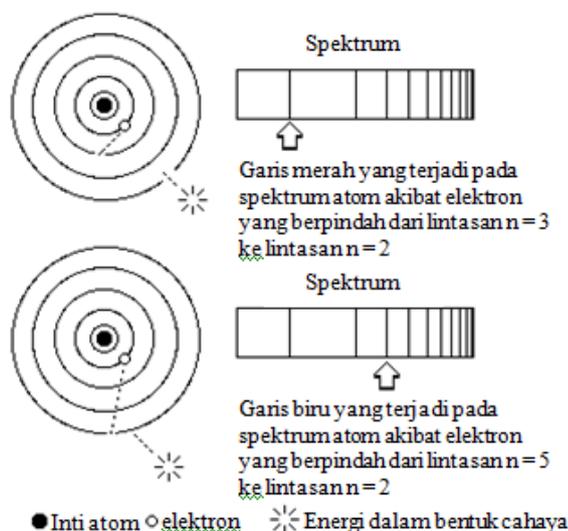
Elektron yang melakukan transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi dikatakan dalam keadaan tereksitasi. Untuk bereksitasi elektron memerlukan tambahan energi dari luar. Elektron tidak bertahan lama di tingkat energi yang lebih tinggi dari tempatnya semula kira-kira hanya sekitar 10^{-8} s dan kemudian berusaha kembali ke tingkat energi asalnya. Bila elektron bertransisi ke tingkat energi yang lebih rendah, energi lebihnya akan dipancarkan dalam bentuk cahaya. Panjang gelombang cahaya yang dipancarkan dapat dihitung dengan menggunakan teori foton Einstein.

Misalkan elektron bertransisi dari tingkat energi m ke tingkat energi n . Selisih antara kedua tingkat energi adalah :

$$\Delta E = E_m - E_n = 13,6 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{eV}$$

$$\Delta E = 13,6 \times 1,6 \times 10^{-19} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{J} \dots\dots\dots(22)$$

Berdasarkan persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa, jika $m < n$, maka $\Delta E < 0$ sehingga dalam transisi ini diperlukan energi dari luar. Sebaliknya bila $m > n$, maka $\Delta E > 0$ sehingga dalam transisi ini dikeluarkan energi dalam bentuk cahaya.



Gambar 3.8 Proses transisi elektron dari satu lintasan ke lintasan lainnya



Tidak lama kemudian Bohr memperluas teorinya untuk ion-ion dengan jumlah muatan inti atom Ze dan elektronnya hanya satu. Dengan demikian, gaya Coulomb antara inti atom dengan elektron yang beredar pada jarak r adalah :

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} \dots\dots\dots(23)$$

yaitu Z kali lebih besar dari gaya Coulomb pada atom hidrogen. Gaya sentripetal pada elektron tetap sama, yaitu $F_s = \frac{mv^2}{r}$, sehingga

$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2}$ maka didapatkan:

$$v = e \sqrt{\frac{Z}{4\pi\epsilon_0 mr}} \dots\dots\dots(24)$$

dan energi kinetiknya adalah:

$$K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \dots\dots\dots(25)$$

energi potensial elektronnya adalah:

$$V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \dots\dots\dots(26)$$

maka energi total elektron adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensialnya sebagai berikut.

$$E = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \dots\dots\dots(27)$$

Bila v adalah kecepatan linear elektron dan r adalah jari-jari lintasan pada suatu keadaan stasioner, maka momentum sudut elektron terhadap pusat

lintasan adalah mvr , sehingga : $mvr = n \frac{h}{2\pi}$; $n = 1, 2, 3, \dots$



Masukkan nilai $v = e \sqrt{\frac{Z}{4\pi\epsilon_0 mr}}$, sehingga diperoleh :

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2} n^2 ; n = 1, 2, 3, \dots \dots \dots (28)$$

Bila dinyatakan dalam jari-jari Bohr, maka :

$$r_n = \frac{a_0}{Z} n^2 ; n = 1, 2, 3, \dots \dots \dots (29)$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa jari-jari lintasan elektron menjadi lebih pendek, yang berarti bahwa tingkat-tingkat energi menjadi lebih berdekatan.

Dan terakhir energi total elektron pada tingkat energi ke- n menjadi :

$$E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2 Z^2}{a_0 n^2} = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ eV} ; n = 1, 2, 3, \dots \dots (30)$$

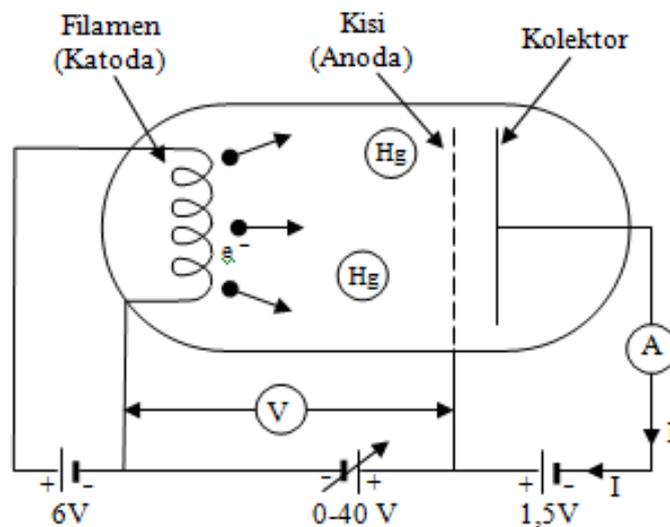
Dari persamaan tersebut terlihat bahwa elektron terikat lebih kuat ke inti ion dibandingkan dengan elektron pada atom hidrogen.

d. Percobaan Franck dan Hertz

Meskipun hasil eksperimen spektroskopi sudah membuktikan bahwa teori atom Bohr adalah benar, tetapi pembuktian tersebut tidak secara langsung. Pada teori Bohr, panjang gelombang cahaya yang dipancarkan dihitung dari selisih energi transisi yang terkait. Pada eksperimen spektroskopi yang diukur adalah panjang gelombang cahaya yang diamati. Spektrum atomik bukanlah satu-satunya cara untuk menyelidiki terdapatnya tingkat energi diskrit dalam atom. Sederetan eksperimen yang berdasarkan pada tumbukan dilakukan oleh James Frank dan Gustav Hertz pada tahun 1914. Mereka merancang suatu eksperimen untuk meneliti ada atau tidaknya tingkat-tingkat energi di dalam atom. Alat yang digunakan berupa sebuah tabung diisi dengan uap air raksa bertekanan rendah. Di dalam tabung

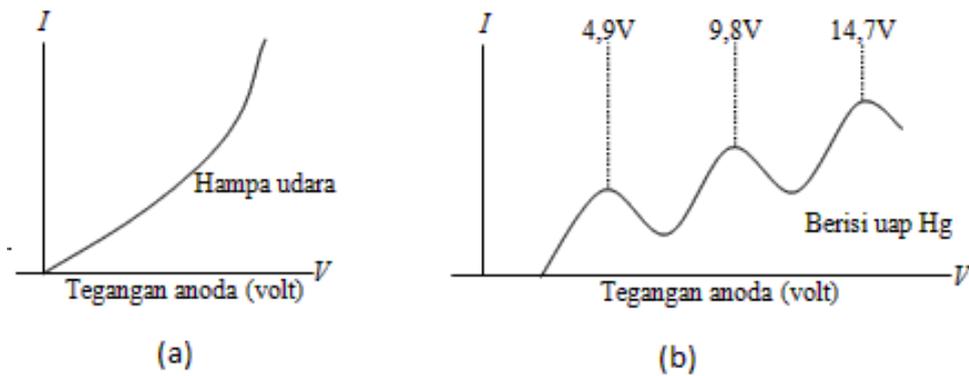


terdapat filamen sebagai sumber elektron merangkap katoda, kisi-kisi anoda, dan kolektor. Beda potensial antara katoda dengan anoda dapat diatur, antara 0 hingga 40V. Sebagai filamen, katoda diberi beda potensial 6V. Antara anoda dengan kolektor diberi beda potensial 1,5V dengan kolektor berpotensi lebih rendah dari anoda. Dengan demikian, antara katoda dengan anoda, elektron-elektron mendapat percepatan, sedangkan antara anoda dengan kolektor, elektron-elektron mendapat perlambatan. Alat ini tidak besar, jarak antara katoda dengan anoda sekitar 1cm dan jarak antara anoda dengan kolektor sekitar 1mm.



Gambar 3.9 Skema alat percobaan Frank-Hertz

Pada eksperimen ini yang dikenal dengan nama eksperimen Franck-Hertz, beda potensial antara katoda dengan anoda sedikit demi sedikit dinaikkan dan kuat arus yang timbul diamati. Hasilnya digambarkan sebagai kurva kuat arus fungsi dari beda potensial.



Gambar 3.10 **Grafik I terhadap V percobaan Frank-Hertz**
(a) hampa udara, (b) uap Hg

Analisis dari Franck-Hertz adalah sebagai berikut. Hasil eksperimen menunjukkan mula-mula kurva naik kemudian menurun. Kurva naik berarti dengan naiknya beda potensial antara katoda dengan anoda maka jumlah elektron-elektron yang sampai di kolektor bertambah. Kurva menurun berarti dengan naiknya beda potensial antara katoda dengan anoda maka jumlah elektron-elektron yang sampai di kolektor juga menurun. Dalam perjalanan menuju ke katoda, elektron-elektron bertumbukan dengan atom-atom air raksa. Ketika bertumbukan tentunya ada perpindahan energi antara elektron-elektron dengan atom-atom air raksa. Tetapi, karena massa atom air raksa jauh lebih besar dari massa elektron maka dapat dikatakan elektron-elektron tidak kehilangan energinya. Akibatnya elektron-elektron dapat melawan beda potensial antara anoda dengan kolektor, sehingga semakin besar beda potensial antara katoda dengan anoda semakin besar pula kuat arus yang mengalir.

Bila beda potensial antara katoda dengan anoda terus dinaikkan, pada beda potensial $(4,9 \pm 0,1)$ V kuat arus mulai menurun. Kenyataan ini menandakan bahwa jumlah elektron-elektron yang mencapai kolektor juga menurun. Hal ini berarti ada elektron-elektron yang ditarik kembali oleh anoda, karena tidak mampu melawan beda potensial antara anoda dengan kolektor. Jadi, elektron-elektron kehilangan sebagian energinya.

Bila beda potensial antara anoda dan katoda dinaikkan lagi, maka pada suatu beda potensial kuat arus akan naik lagi dan mencapai maksimum



kedua pada beda potensial sekitar 9,8 V. Setelah itu kuat arus menurun lagi. Bila beda potensial antara katoda dan anoda diperbesar terus, maka keadaan tadi berulang. Kuat arus maksimum terjadi pada potensial yang merupakan kelipatan dari 4,9 V.

Mereka juga berusaha mengukur panjang gelombang cahaya yang dipancarkan dalam eksperimen tersebut. Mula-mula gagal, karena mereka tidak menemukan adanya cahaya. Tetapi setelah tabung dari gelas diganti dengan tabung dari kuarts, mereka menemukan ada cahaya dengan panjang gelombang 254 nm yang dipancarkan.

Elektron yang dipercepat pada beda potensial 4,9 volt akan mendapat energi 4,9 eV. Bila ini dianggap sebagai tingkat energi di atas tingkat dasar, maka ketika atom atom air raksa kembali ke tingkat dasar akan memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 253 nm. Hasil ini dapat dikatakan sesuai dengan hasil pengukuran panjang gelombang tadi.

Dengan demikian, dapat dibedakan antara dua macam tumbukan elektron-elektron dengan atom-atom air raksa. Pertama adalah tumbukan elastis sempurna yang terjadi selama kuat arus naik, dan kedua tumbukan tak elastis yang terjadi selama kuat arus menurun. Pada tumbukan tak elastis yang pertama, setelah elektron-elektron bertumbukan dengan atom-atom air raksa, tidak semua elektron mempunyai cukup energi untuk mencapai kolektor. Pada tumbukan tak elastis kedua, beda potensial antara katoda dengan anoda 9,8 V, di antara katoda dengan anoda, elektron-elektron melakukan dua kali tumbukan tak elastis. Sebagian dari elektron-elektron yang mempunyai cukup energi dapat mencapai kolektor, yang tidak mempunyai cukup energi akan bertahan di anoda. Begitulah seterusnya sehingga terjadi puncak-puncak kuat arus.

Keberhasilan eksperimen Franck-Hertz ini makin memperkuat teori atom Bohr, yang menunjukkan secara langsung bahwa tingkat energi atomik memang ada dan tingkat-tingkat ini sama dengan tingkat-tingkat yang terdapat pada spektrum garis. Tetapi teori atom Bohr masih mengandung beberapa kekurangan, yaitu:



1. Hanya berlaku untuk atom atau ion dengan satu elektron karena dalam perhitungannya hanya melibatkan interaksi antara satu elektron dengan inti atom. Bila atom terdiri dari banyak elektron maka perlu diperhitungkan juga interaksi antara elektron-elektron.
2. Dengan menggunakan spektrometer berdaya pisah tinggi ternyata garis-garis spektra terdiri dari beberapa garis, bukannya sebuah garis seperti yang diramalkan oleh teori Bohr.
3. Teori Bohr tidak dapat menentukan besar intensitas masing-masing spektra.

Meskipun masih ada kekurangan dalam teori atom Bohr, tetapi para ilmuwan tetap menghargai teori tersebut, karena dapat memberikan gambaran tentang struktur atom. Bahkan untuk beberapa kasus, misalnya kemagnetan dalam atom, dapat dijelaskan dengan teori Bohr.

D. Aktivitas Pembelajaran

Untuk lebih memahami materi tentang metode pembelajarn Anda dapat membaca secara mandiri berbagai artikel, *hand out* atau sumber bacaan yang lebih lengkap. Setelah itu lakukan kegiatan sesuai lembar kegiatan yang tersedia, hasil kerja yang telah dikembangkan diskusikan dengan rekan sejawat dan sebaiknya perwakilan peserta mempresentasikan hasil kerjanya, peserta lain menyimak presentasi dengan cermat dan serius sebagai penghargaan kepada pembicara.

Lembar Kerja I3.01

KAJIAN TOPIK TEORI ATOM

Tujuan Kegiatan: Melalui diskusi kelompok peserta diklat mampu mengidentifikasi konsep-konsep penting topik Teori Atom dalam bentuk peta pikiran

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang topik Teori Atom
2. Identifikasi konsep-konsep penting yang ada pada topik Teori Atom dan gambarkan dalam peta pikiran
3. Setelah selesai, presentasikan hasil diskusi kelompok Anda!
4. Perbaiki hasil kerja kelompok Anda jika ada masukan dari kelompok lain!



Lembar Kerja I3.02

LATIHAN SOAL

Tujuan Kegiatan: Melalui kerja mandiri/diskusi kelompok peserta diklat mampu menerapkan konsep-konsep Teori Atom dalam berbagai permasalahan

Langkah Kegiatan:

1. Pelajari *hand out* tentang topik Teori Atom
2. Cermati soal-soal yang ada pada bagian **E. LATIHAN/KASUS/TUGAS** pada sub-bagian **Latihan Soal**
3. Kerjakan soal-soal secara mandiri!
4. Diskusikan dengan rekan sejawat jika Anda menemui kesulitan dalam mengerjakan soal-soal!
5. Kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan!

Lembar Kerja I2.03

TUGAS MENGEMBANGKAN SOAL

Tujuan Kegiatan: Melalui kerja mandiri peserta diklat mampu mengembangkan soal-soal USBN berdasarkan kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada materi Teori Atom

Langkah Kegiatan:

1. Cermati prosedur pengembangan soal yang ada pada sub-bagian **E. LATIHAN/KASUS/TUGAS** pada sub-bagian **Tugas Mengembangkan Soal**
2. Kerjakan Tugas Mengembangkan Soal secara mandiri sesuai dengan prosedur yang disarankan dan dikumpulkan tepat pada waktunya!

E. Latihan/Kasus/Tugas

Setelah mempelajari materi secara mandiri dengan seksama, silahkan Anda mencoba mengerjakan tugas berikut, kaji secara mandiri selanjutnya diskusikan dalam kelompok dan kumpulkan hasil kerja tepat waktu sesuai jadwal yang ditentukan!



Latihan Soal

1. Panjang gelombang salah satu garis pada deret Balmer adalah $6,5628 \times 10^{-7}$ meter. Hitung frekwensi dan energi foron yang menyebabkan terjadinya garis tersebut!
2. Tentukan jari-jari sebuah elektron dengan bilangan kuantum 4 !
3. Tentukan energi yang dibutuhkan untuk mengionisasi atom hidrogen (elektron berada pada bilangan kuantum ke 1)!
4. Tentukan panjang gelombang terkecil dalam deret Lyman!
5. Tentukan panjang gelombang garis spectrum yang bersesuaian dengan transisi hidrogen dari keadaan $n = 6$ ke $n = 3$!
6. Tentukan panjang gelombang foton yang dipancarkan bila atom hidrogen bertransisi dari keadaan $n = 10$ ke keadaan dasar.
7. Berapa besar energi yang diperlukan untuk mengeluarkan elektron dalam keadaan $n = 2$ dari atom hidrogen.

Tugas Mengembangkan Soal

Pada tugas pengembangan soal ini Anda diminta untuk membuat soal USBN berdasarkan kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Soal yang dikembangkan disesuaikan dengan kurikulum yang digunakan oleh sekolah Anda (Kurikulum 2006 atau Kurikulum 2013) dengan materi sesuai dengan materi yang dibahas pada Kegiatan Pembelajaran 1 ini.

Prosedur Kerja

- Bacalah bahan bacaan berupa Modul Pengembangan Instrumen Penilaian di Modul G Kelompok Kompetensi Pedagogik.
- Pelajari kisi-kisi yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan seperti pada Lampiran 1 dan 2.
- Buatlah kisi-kisi soal UN/USBN pada lingkup materi yang dipelajari sesuai format berikut pada Lampiran 3. (Sesuaikan dengan kurikulum yang berlaku di sekolah anda).



- Berdasarkan kisi-kisi diatas, buatlah soal UN/USBN pada lingkup materi yang dipelajari pada modul ini.
- Kembangkan soal-soal yang sesuai dengan konsep HOTS.
- Kembangkan soal Pilihan Ganda (PG) sebanyak 3 Soal
- Kembangkan soal uraian (Essay) sebanyak 3 Soal.
- Masing-masing soal dibuat dalam kartu soal seperti pada Lampiran 4 dan lampiran 5
- Sebagai acuan pengembangan soal yang baik Anda bisa menelaah soal tersebut secara mandiri atau dengan teman sejawat dengan menggunakan instrumen telaah soal seperti terlampir pada Lampiran 6 dan 7.

F. Rangkuman

1. Model atom Thomson

Atom berbentuk bola padat dengan muatan-muatan listrik positif tersebar merata di seluruh bagian bola; muatan-muatan positif ini dinetralkan oleh elektron-elektron bermuatan negatif yang melekat pada bola seragam bermuatan positif tersebut, seperti kismis yang melekat pada sebuah kue (model *plum-pudding*).

2. Model atom Rutherford

Rutherford menyatakan teori atomnya sebagai berikut.

- Semua muatan positif dan sebagian besar massa atom berkumpul pada sebuah titik di tengah-tengah atom, yang disebut inti atom
- Inti atom dikelilingi oleh elektron, elektron-elektron berputar pada lintasan tertentu, seperti planet-planet mengelilingi matahari dalam tatasurya.

3. Model atom Bohr

Teori Bohr berkaitan dengan atom adalah sebagai berikut.

- Elektron bergerak mengelilingi inti atom pada lintasan atau orbit berupa lingkaran



Jari-jari orbit ke-n dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$r_n = a_0 n^2; \quad n = 1, 2, 3, \dots \text{ dengan } a_0 = 0,529 \text{ \AA}$$

dan besarnya energi elektron pada lintasan ke-n adalah sebagai berikut

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- hanya ada beberapa lintasan dimana elektron dalam keadaan stasioner, maksudnya selama elektron berada pada lintasan tersebut tidak ada radiasi yang dipancarkan sehingga energinya tetap,
- radiasi hanya akan dipancarkan kalau elektron pindah dari keadaan stasioner yang lebih tinggi ke yang lebih rendah.

Teori atom Bohr didukung oleh fakta-fakta hasil eksperimen yang dilakukan oleh Balmer, seorang ahli fisika Swiss, mendapatkan bahwa panjang gelombang dalam spektrum garis atom hidrogen atau spektrumnya bersifat diskrit, dengan persamaan matematis sebagai berikut.

$$\lambda_n = 364,6 \text{ nm} \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \text{ dengan } n = 3, 4, 5, 6$$

Selanjutnya, Rydberg mengusulkan bahwa rumus deret dapat ditulis sebagai perbedaan antara dua variabel (peubah), sehingga **deret Balmer** untuk spektrum hidrogen dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ dengan } n = 3, 4, 5, 6, \dots \text{ dengan } R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Secara umum persamaan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut : $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$, dengan $n < m$.

Untuk deret **Lyman**, $n = 1$; deret **Balmer**, $n = 2$; deret **Paschen**, $n = 3$; deret **Brackett**, $n = 4$; dan deret **Pfund**, $n = 5$.

Hasil eksperimen Franck-Hertz: elektron-elektron pada orbit tertentu memiliki energi tertentu, yang disebut tingkat energi.

Tingkat dasar atau keadaan dasar (E_1) menyatakan energi elektron di dalam atom sebelum mengambil energi. Tingkat-tingkat energi yang lebih



besar dari tingkat dasar (E_1, E_2, E_3, \dots) menyatakan *keadaan eksitasi*. Keadaan ionisasi adalah keadaan dimana elektron terpelantik keluar dari ikatan atom.

Transisi elektron dari tingkat energi m ke tingkat energi n . Selisih energi antara kedua tingkat energi adalah sebagai berikut.

$$\Delta E = E_m - E_n = 13,6 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{eV} \quad \text{atau} \quad \Delta E = 13,6 \times 1,6 \times 10^{-19} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{J}$$

Bila $m < n$, maka $\Delta E < 0$ sehingga dalam transisi ini diperlukan energi dari luar. Sebaliknya bila $m > n$, maka $\Delta E > 0$ sehingga dalam transisi dikeluarkan energi dalam bentuk cahaya.

Untuk ion-ion dengan jumlah muatan inti atom Ze dan elektronnya hanya satu.

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} \quad \text{sehingga} \quad v = e \sqrt{\frac{Z}{4\pi\epsilon_0 mr}}$$

dengan energi kinetiknya: $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$

energi potensial elektronnya $V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$

Energi total elektronnya $E = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$

Jari-jari lintasan ke- n : $r_n = \frac{a_0}{Z} n^2$; $n = 1, 2, 3, \dots$

Dan terakhir, energi total elektron pada tingkat energi ke- n menjadi sebagai berikut.

$$E_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{eV} ; n = 1, 2, 3, \dots$$

Teori atom Bohr masih mengandung beberapa kekurangan, sebagai berikut.

- Hanya berlaku untuk atom atau ion dengan satu elektron karena dalam perhitungannya hanya melibatkan interaksi antara satu elektron dengan



inti atom. Bila atom terdiri dari banyak elektron maka perlu diperhitungkan juga interaksi antara elektron-elektron.

- Dengan menggunakan spektrometer berdaya pisah tinggi ternyata garis-garis spektra terdiri dari beberapa garis, bukannya sebuah garis seperti yang diramalkan oleh teori Bohr.
- Teori Bohr tidak dapat menentukan besar intensitas masing-masing spektra.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Setelah menyelesaikan latihan, Anda dapat memperkirakan tingkat keberhasilan Anda dengan membandingkan dengan kunci/rambu-rambu jawaban yang terdapat pada bagian akhir modul ini. Jika pencapaian Anda sudah melebihi 80%, silakan Anda terus mempelajari Kegiatan Pembelajaran berikutnya, namun jika Anda menganggap pencapaian Anda masih kurang dari 80%, sebaiknya Anda ulangi kembali kegiatan pembelajaran ini dengan lebih cermat, kreatif, disiplin dan jika memungkinkan diskusikan dengan rekan sejawat.

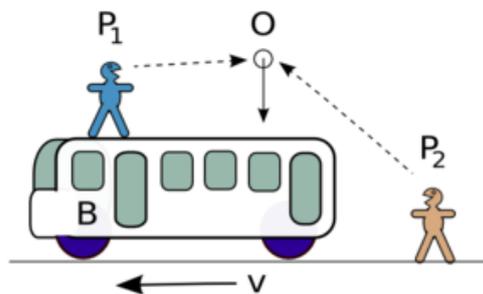
$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan:	90-100% = baik sekali
	80-89% = baik
	79-79% = cukup
	<70% = kurang

KUNCI JAWABAN LATIHAN/KASUS/TUGAS

A. Kegiatan Pembelajaran 1: Relativitas

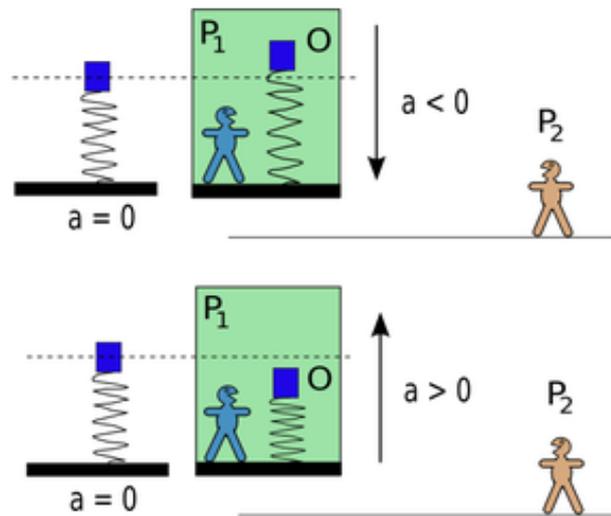
1. *Kerangka acuan lembam (inersial)* adalah kerangka acuan yang tidak berotasi (hanya bertranslasi) dan pusat koordinatnya bergerak dengan kecepatan konstan di sepanjang sebuah garis lurus (dengan kecepatan tetap, tanpa adanya komponen percepatan), sedangkan *Kerangka acuan non-inersial* adalah kerangka acuan yang bergerak lurus dipercepat atau bergerak melingkar (rotasi).
2. Contoh pada kerangka acuan inersial :



Seorang pengamat P_1 sedang berada di atas sebuah bus B yang bergerak lurus beraturan ($v = \text{tetap}$) terhadap pengamat lain P_2 yang diam di suatu tempat. Sebuah obyek O dijatuhkanbebasakan di atas bus. Kedua pengamat mengukur jarak tempuh dan waktu tempuh (dari posisi awal dijatuhkan sampai mencapai atap bus).



Contoh pada kerangka acuan non-inersial:



Suatu contoh sederhana kerangka acuan non-inersia adalah kerangka acuan yang diletakkan dalam suatu lift dipercepat (baik ke atas maupun ke bawah). Suatu benda dan pegas diletakkan di dalam lift untuk membuktikan hal tersebut. Pengamat P_1 adalah pengamat dalam lift yang tidak bergerak terhadap obyek O berupa suatu massa dan pegas, sedangkan pengamat P_2 adalah pengamat yang diam terhadap tanah. Bila lift merupakan suatu kerangka acuan inersial ($a = 0$) maka panjang pegas adalah sama seperti panjang pegas mula-mula. Akan tetapi bila lift dipercepat maka panjang pegas akan berubah. Pengamat P_1 akan menyaksikan suatu gaya fiktif bekerja pada pegas yang menyebabkan panjangnya berubah, padahal tidak ada gaya yang dikenakan padanya. Lain halnya dengan pengamat P_2 yang dengan jelas melihat mengapa pegas dapat berubah panjangnya. Hal ini dikarenakan lift yang bergerak dipercepat memberikan gaya normal kepada pegas sehingga panjangnya berubah.

3. Cara melakukan transformasi dari kerangka acuan ke kerangka acuan yang lain, adalah sebagai berikut.



Lokasi dan waktu dari suatu kejadian dapat dinyatakan oleh koordinat (x, y, z, t) . Kita dapat mentransformasi koordinat ruang dan waktu suatu kejadian dari suatu sistem inersial ke sistem lain yang bergerak dengan kecepatan konstan relatif terhadap sistem inersial pertama. Misalkan dua sistem inersial S dan S' , sistem inersial S dinyatakan oleh koordinat (x, y, z, t) dan sistem inersial S' dinyatakan oleh koordinat (x', y', z', t') , dimana pada keadaan awal kedua sistem kerangka referensi berimpit, selanjutnya sistem inersial S' bergerak kekanan searah sumbu x dengan kecepatan konstan v relatif terhadap kerangka S . Maka kedua sistem koordinat dihubungkan oleh persamaan

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

NB: Koordinat keempat yaitu waktu diasumsikan sama di kedua sistem inersial, konsekuensinya ialah interval waktu antara dua kejadian yang berurutan haruslah sama diamati oleh kedua pengamat di kerangka S dan S' .

4. Cepat rambat cahaya menurut jame ialah

$$U_x = U'x + v = C + v$$

Hal itu berarti $U_x > C$, dan ini bertentangan dengan fakta bahwa cepat rambat cahaya diruang hampa adalah kecepatan objek terbesar, dan ini menunjukkan bahwa hukum penjumlahan kecepatan Galilean memiliki keterbatasan keberlakuan yaitu hanya berlaku untuk gerak benda yang kecepataannya jauh lebih kecil dari cepat rambat cahaya, dan menjadi salah bila diterapkan pada kasus gerak benda yang kecepataannya mendekati cepat rambat cahaya.

5. Misalkan O adalah pengamat di tanah yang mengamati mobil A bergerak dengan laju $v = 60$ km/jam. Anggaplah O' bergerak dengan mobil B dengan laju $u = 40$ km/jam. Maka :



$$v' = v - u = (60 - 40) \text{ km/jam} = 20 \text{ km/jam}$$

6. Andaikan S adalah kerangka acuan bumi dan S' adalah kerangka acuan pesawat angkasa. Selang waktu kedipan pulsa-pulsa yang diukur oleh pengamat di pesawat angkasa adalah $2,20 \times 10^{-6}$ s. Ini merupakan proper time dalam kerangka acuan S' sebab merujuk pada dua peristiwa yaitu awal dan akhir pulsa serta pada titik yang sama terhadap kerangka acuan S'. Jadi $\Delta t_0 = 2,20 \times 10^{-6}$ s.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{2,20 \times 10^{-6} \text{ s}}{\sqrt{1 - (0,990)^2}} = 15,6 \times 10^{-6} \text{ s.}$$

7. Waktu yang dibutuhkan oleh kincir angin untuk berputar satu kali atau periode kincir angin adalah *periode sejati* $\Delta t_0 = 5,00$ sekon Sedangkan periode kincir angin yang diamati oleh pengamat yang bergerak adalah *periode relativistik* Δt

Kecepatan pengamat $v = 0,96 c \rightarrow \frac{v}{c} = \frac{96}{100} = \frac{24}{25}$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{24}{25}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{625 - 576}{625}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{49}{625}}} = \frac{25}{7}$$

selanjutnya dengan menggunakan rumus (2) diperoleh waktu relativistik berikut.

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{25}{7} \times 5,00 \text{ detik} = \mathbf{17,857 \text{ sekon}}$$

Dari hasil tersebut terlihat bahwa periode relativistik akan lebih besar dari periode sejati.

8. a. Massa relativistik elektron saat bergerak dengan kelajuan $v = 0,05 c$ adalah



$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9,11 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{0,05^2 c^2}{c^2}}} = \frac{9,11 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - 0,0025}} = \frac{9,11 \times 10^{-31}}{0,999} = 9,12 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

terlihat bahwa walaupun kecepatan elektron sudah cukup tinggi yaitu 0,05 c tetapi kenaikan massa elektron hanya kecil sekali yaitu $0,01 \times 10^{-31}$ kg atau sekitar 0,12% dari massa diamnya

- b. Massa relativistik elektron saat bergerak dengan kelajuan $v = 0,92 c$ adalah

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9,11 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{0,92^2 c^2}{c^2}}} = \frac{9,11 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - 0,8464}} = \frac{9,11 \times 10^{-31}}{0,392} = 23,24 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

ternyata untuk elektron yang bergerak dengan kecepatan yang mendekati kecepatan cahaya akan terjadi kenaikan massa sebesar 2,55 kali massa diamnya.

9. Momentum relativistiknya adalah:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$p = \frac{1,6 \times 10^{-27} \times 0,96 \times 3,0 \times 10^8}{\sqrt{1 - \frac{0,96^2 c^2}{c^2}}} = \frac{4,608 \times 10^{-19}}{\sqrt{1 - 0,9216}} = 16,457 \times 10^{-19} \text{ kgm/s}$$

10. Karena antariksawan itu tidur dan bangun pada tempat yang sama dalam kerangka acuannya, selang waktu untuk tidur siang selama 1 jam sebagaimana diukur oleh dirinya sendiri merupakan *propertime*. Jadi $\Delta t_0 = 1 \text{ jam}$.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{1 \text{ jam}}{\sqrt{1 - (0,6)^2}} = 1,25 \text{ jam.}$$



Panjang pesawat itu jika diukur oleh pengamat di bumi adalah:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} = (400m) \sqrt{1 - (0,990)^2} = 56,4m.$$

11. Momentum relativistiknya adalah:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(9,11 \times 10^{-31} kg) \left(0,75 \times 3 \times \frac{10^8 m}{s}\right)}{\sqrt{1 - \frac{(0,75c)^2}{c^2}}}$$

$$\frac{2,050 \times 10^{-31} kg \ m/s}{\sqrt{0,4375}} = 3,10 \times 10^{-22} kg \cdot m/s$$

12. Massa diam benda mula-mula adalah:

$$E_0 = E_1 + E_2$$

$$m_0 c^2 = \frac{m_{01} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} + \frac{m_{02} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}}$$

$$m_{01} = m_{02} = 1kg \text{ dan } v_1 = v_2 = 0,6c$$

$$m_0 = \frac{1kg}{\sqrt{1 - (0,6)^2}} + \frac{1kg}{\sqrt{1 - (0,6)^2}} = 2 \frac{1kg}{\sqrt{1 - (0,6)^2}} = 2,5kg.$$

13. a. Energi diam elektron

$$E_0 = m_0 c^2 = (9,1 \times 10^{-31} kg) \left(3 \times 10^8 \frac{m}{s}\right)^2 = 8,19 \times 10^{-14} J$$

$$1eV = 1,6 \times 10^{-19} J, \text{ jadi}$$

$$E_0 = 8,19 \times 10^{-14} J = 8,19 \times 10^{-14} J \frac{1eV}{1,6 \times 10^{-19} J} = 5,11 \times 10^5 eV$$

$$= 0,511 MeV$$

b. Laju elektron yang telah dipercepat oleh medan listrik, dari keadaan diam melalui penambahan potensial 20kV adalah

$$(1) \cdot \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{\gamma} \rightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{\gamma^2}$$



$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{\gamma^2}$$
$$v^2 = c^2 \left(1 - \frac{1}{\gamma^2}\right)$$
$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^2}$$

Energi total elektron E yang dipercepat adalah jumlah dari energi diam $E_0 = m_0 c^2$ dan energi kinetik $E_k = eV_{ba}$ yang diperoleh dari usaha yang dilakukan pada elektron oleh medan listrik ketika elektron itu bergerak dari a ke b . Jadi,

$$E_k = m_0 c^2 + E_k = m_0 c^2 + eV_{ba} = \gamma m_0 c^2 \text{ atau } \gamma = 1 + \frac{eV_{ba}}{m_0 c^2}$$

Untuk $V_{ba} = 20\text{kV}$ diperoleh $eV_{ba} = e(20\text{kV}) = 20\text{keV} = 20 \times 10^3 \text{ eV}$.

Sehingga

$$\gamma = 1 + \frac{eV_{ba}}{m_0 c^2} = 1 + \frac{20 \times 10^3 \text{ eV}}{0,511 \times 10^6 \text{ eV}} = 1,039$$
$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^2} = \left(3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}\right) \sqrt{1 - \left(\frac{1}{1,039}\right)^2} = 8,15 \times 10^7 \text{ m/s}$$

Kecepatan suatu benda bergerak dengan nilai γ nya 1,0 persen lebih besar daripada γ ketika benda tersebut berada dalam keadaan diam adalah

Kita gunakan $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ untuk menentukan bahwa $v = 0$, $\gamma = 1,0$.

Sehingga nilai baru $\gamma = 1,01$ (1,0), maka

$$1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \left(\frac{1}{1,01}\right)^2 = 0,980$$

Dengan menyesuaikan diperoleh $v = 0,14c = 4,2 \times 10^7 \text{ m/s}$

14. Energi total, energi kinetik dan momentum elektron!

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{1}{0,6} = 1,67$$

Energi total $E = \gamma m_0 c^2 = \gamma E_0 = (1,67)(0,511\text{MeV}) = 0,853 \text{ MeV}$.



Energi kinetik $E_k = E - E_0 = 0,853 \text{ MeV} - 0,511 \text{ MeV} = 0,342 \text{ MeV}$.

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} \text{ atau}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

$$p^2 = \frac{E^2 - m_0^2 c^4}{c^2} = \frac{E^2 - (m_0 c^2)^2}{c^2} = \frac{E^2 - E_0^2}{c^2}$$

$$p = \frac{\sqrt{E^2 - E_0^2}}{c} = \frac{\sqrt{(0,853 \text{ MeV})^2 - (0,511 \text{ MeV})^2}}{c} = \frac{\sqrt{0,466 (\text{MeV})^2}}{c} = 0,683 \text{ MeV}/c$$

15. A bergerak bersama pesawat dengan $v = 0,8 c$ sehingga A sebagai kerangka yang diam, maka penambahan umur yang ingin dihitung A adalah Δt_0 . Menurut B sebagai kerangka yang bergerak terhadap pesawat, selang waktu $\Delta t = 30 - 20 = 10$ tahun

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$10 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}}$$

$$10 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - 0,64}}$$

$$10 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{0,36}}$$

$$10 = \frac{\Delta t_0}{0,6}$$

$$\Delta t_0 = 6 \text{ tahun}$$

Jadi menurut A, umur B seharusnya bertambah 6 tahun (Δt_0), bukan 10 tahun (Δt) dan menurut A umurnya baru $20 + 6 = 26$ tahun

B. Kegiatan Pembelajaran 2: Fenomena Kuantum

1. Jawab

$$a) \quad n_1 = \frac{l}{hv}$$



$$n_1 = \frac{1,4 \times 10^3 \frac{W}{m^2}}{6,626 \times 10^{-34} J \cdot s (5 \times 10^{14} Hz)}$$

$$n_1 = \frac{1,4 \times 10^3 \frac{W}{m^2}}{33,13 \times 10^{-20} J}$$

$$n_1 = 0,0423 \times 10^{23}$$

$$n_1 = 4,23 \times 10^{21} \frac{\text{foton}}{m^2 \cdot s}$$

b) $I = \frac{P}{A}$ atau $P = A \cdot I$

$$P = 4\pi\lambda^2 \cdot I$$

$$P = 4 \times 3,14 \times (1,5 \times 10^{11} m)^2 \left(1,4 \times 10^3 \frac{W}{m^2}\right)$$

$$P = 39,6 \times 10^{25} W$$

$$P = 3,96 \times 10^{26} W$$

$$n_2 = \frac{P}{E}$$

$$n_2 = \frac{P}{h\nu}$$

$$n_2 = \frac{3,96 \times 10^{26} W}{(6,626 \times 10^{-34} J \cdot s)(5 \times 10^{14} Hz)}$$

$$n_2 = 0,119 \times 10^{46}$$

$$n_2 = 1,19 \times 10^{45} \frac{\text{foton}}{s}$$

c) $\frac{n_{\text{foton}}}{m^3} = n_3$

$$n_3 = \frac{n_1 v}{\lambda}$$

$$n_3 = \frac{4,23 \times 10^{21} \frac{\text{foton}}{m^2 \cdot s} (5 \times 10^{14} Hz)}{1,5 \times 10^{11} m}$$

$$n_3 = 14,1 \times 10^{24} \frac{\text{foton}}{m^3 \cdot s^2}$$

$$n_3 = 1,41 \times 10^{23} \frac{\text{foton}}{m^3 \cdot s^2}$$

2. Jawab

$$E = eV = h\nu = \frac{h c}{\lambda} ; \text{ dengan } h = 6.626 \times 10^{-34} Js$$



$$E = eV = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{2 \times 10^{-7} \text{ m}} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ V}$$

$$V = \frac{9.94 \times 10^{-19} \text{ Jm}}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.2 \text{ Volt}$$

3. Jawab

$$K_{\max} = E_{\text{cahaya}} - E_{\text{ambang}}$$

$$E_{\text{ambang}} = \frac{hc}{\lambda} = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js} (3 \times 10^8 \text{ m}) / 2.3 \times 10^{-7} \text{ m} = 8.64 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Sehingga

$$K_{\max} = E_{\text{cahaya}} - E_{\text{ambang}}$$

$$E_{\text{cahaya}} = K_{\max} + E_{\text{ambang}}$$

$$= 2.4 \times 10^{-19} \text{ J} + 8.64 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 11.04 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Karena

$$E_{\text{cahaya}} = hc / \lambda_{\text{cahaya}}$$

$$11.04 = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js} (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}) / \lambda_{\text{cahaya}}$$

$$\lambda_{\text{cahaya}} = 1.800 \text{ \AA}$$

jadi panjang gelombang cahaya adalah 1.800 Å.

4. Jawab

$$K_{\max} = h \nu_{\text{cahaya}} - h \nu_{\text{ambang}} ; \text{ dengan } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$= h (\nu_{\text{cahaya}} - \nu_{\text{ambang}})$$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js} (1.5 \times 10^{15} \text{ Hz} - 1.1 \times 10^{15} \text{ Hz})$$

$$= 2.65 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 1.65 \text{ eV}$$

5. Jawab

$$\phi = \frac{hc}{\lambda_{\text{maks}}}$$



dimana ϕ adalah fungsi kerja dari Cesium dan nilainya sama dengan 2,3 eV.

$$\text{a. } \lambda_{\text{maks}} = h \cdot \frac{c}{\phi}$$

$$= \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(2,3 \text{ eV})(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ JeV}^{-1})}$$

$$= \frac{1,989 \cdot 10^{-25}}{3,68 \cdot 10^{-19}}$$

$$= 5,39 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 5,39 \text{ \AA}$$

$$\text{b. } K_{\text{maks}} = hv - \phi$$

$$= \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(2 \cdot 10^{-7} \text{ m})} - 2,3 \text{ eV}$$

$$= \frac{1,989 \cdot 10^{-25}}{2 \cdot 10^{-7}} - 2,3 \text{ eV}$$

$$= 9,95 \cdot 10^{19} - 2,3 (1,6 \cdot 10^{-19})$$

$$= 9,95 \cdot 10^{19} - 3,68 \cdot 10^{19}$$

$$K_{\text{maks}} = 6,27 \cdot 10^{-19}$$

$$= \frac{6,27 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$= 3,91 \text{ eV.}$$

6. Jawab

$$I = \frac{P}{V}$$

$$\text{dengan } V = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} \text{ Vm}}{\lambda} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} \text{ Vm}}{4,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 2,95 \text{ V}$$

$$\text{Sehingga } I = \frac{P}{V} \\ = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ W}}{2,95 \text{ V}}$$

$$= 1,694 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Jadi, arus fotoelektrik yang terjadi adalah $1,694 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.



7. **Jawab**

$$\lambda = \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{Vm}}{V}$$

$$V = \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{Vm}}{\lambda}$$

$$V = \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{Vm}}{10^{-11} \text{m}}$$

$$V = 1,24 \times 10^5 \text{ V}$$

Jadi, besar tegangan yang dipakai adalah $1,24 \times 10^5$ volt

8. **Jawab**

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

$$2(3 \times 10^{-10} \text{ m}) \sin \theta = 1(3 \times 10^{-11} \text{ m})$$

$$\sin \theta = \frac{3 \times 10^{-11} \text{ m}}{6 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$\sin \theta = 0,05$$

$$\theta = 2,866$$

Jadi besar sudutnya adalah $2,866^\circ$

9. **Jawab :**

$$p_{\text{foton}} = p_{\text{elektron}}$$

$$E_{\text{foton}} = E_{\text{elektron}} \text{ atau } h\nu = \sqrt{(p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2}$$

Membagi pernyataan energy dengan c menghasilkan

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{\sqrt{(p_e c)^2 + (m_0 c^2)^2}}{c}$$

$$\frac{h\nu}{c} = \sqrt{p_e^2 + m_0^2 c^2} > p_e$$

Persamaan diatas bertentangan dengan momentum, sehingga hal ini menerangkan mengapa efek fotolistrik hanya dapat terjadi bila foton menumbuk elektron terikat, dan tidak mungkin terjadi sebuah foton menyerahkan seluruh energi dan momentumnya pada electron bebas.



10. Jawab

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

$$\lambda_0 = \lambda - \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

$$\lambda_0 = 2,2 \times 10^{-12} \text{ m} - 2,426 \times 10^{-12} \text{ m} (1 - \cos 45^\circ)$$

$$\lambda_0 = 2,2 \times 10^{-12} \text{ m} - 2,426 \times 10^{-12} \text{ m} (0,292)$$

$$\lambda_0 = 2,2 \times 10^{-12} \text{ m} - 0,7 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 1,5 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 0,015 \text{ \AA}$$

Jadi, panjang gelombang sinar x datang adalah 0,015 Å

C. Kegiatan Pembelajaran 3: Teori Atom

1. $\lambda = 6,5628 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{6,5628 \cdot 10^{-7}} = 4,5 \cdot 10^{14}$$

$$E = h \cdot f$$

$$E = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 4,5 \cdot 10^{14}$$

$$= 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ joule}$$

$$= 3,03 \cdot 10^{-19} / 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$= 1,89 \text{ ev}$$

2. $R_n = n^2 \cdot r_0$

$$R_n = 4^2 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11}$$

$$R_n = 8,48 \cdot 10^{-10}$$

3.
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_A^2} - \frac{1}{n_B^2} \right)$$

$$n_A = 1, n_B = \sim$$



$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\sim} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h.c R$$

$$= 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,097 \cdot 10^7$$

$$= 2,181 \cdot 10^{-18} \text{ joule}$$

$$4. \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_A^2} - \frac{1}{n_B^2} \right)$$

panjang gelombang terkecil berasal dari transisi dari $n = \sim$ sampai $n =$

1

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\sim} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \text{ menjadi } \lambda = \frac{1}{R}$$

$$\lambda = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7} = 9,12 \cdot 10^{-8} \text{ meter}$$

$$5. \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^{-7} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^{-7} \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{36} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^{-7} \left(\frac{4}{36} - \frac{1}{36} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^{-7} \left(\frac{3}{36} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 0,09 \cdot 10^{-7}$$



$$\lambda = \frac{1}{9 \times 10^{-9}}$$

$$\lambda = 0,1 \times 10^9$$

$$\lambda = 1 \times 10^{10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$$

$$6. \quad \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{10^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{100} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} \left(\frac{100}{100} - \frac{1}{100} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} \left(\frac{99}{100} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,08 \times 10^{-7}$$

$$\lambda = \frac{1}{1,08 \times 10^{-7}}$$

$$\lambda = 0,92 \times 10^7 \text{ m} = 9,2 \times 10^{-4} \text{ \AA}$$

$$7. \quad E_{ikat} = \frac{-13,6}{n^2} \text{ eV}$$

$$= \frac{-13,6}{2^2} \text{ eV}$$

$$E_{ikat} = \frac{-13,6}{4} \text{ eV} = -3,4 \text{ eV}$$

EVALUASI

Setelah Anda mempelajari modul kelompok kompetensi I pada bagian pedagogi dan professional, cobalah jawab soal-soal berikut dengan tepat!

1. Dua buah mobil melaju dengan laju tetap di sepanjang sebuah jalan lurus dalam arah yang sama. Mobil A bergerak dengan laju 60 km/jam, sedangkan mobil B 40 km/jam. Masing-masing laju di ukur relatif terhadap seorang pengamat di tanah. Berapalah laju mobil A terhadap mobil B?
 - A. 10 km/jam
 - B. 20 km/jam
 - C. 30 km/jam
 - D. 40 km/jam
2. Sebuah pesawat angkasa terbang pada kelajuan $0,990c$ relatif terhadap bumi. Seberkas sinyal (pulsa) laser dengan intensitas tinggi pada pesawat itu berkedip-kedip setiap $2,20 \times 10^{-6}$ s diukur dari pesawat angkasa itu. Berapakah lama setiap pulsa cahaya yang teramati oleh Nella yang diam di bumi?
 - A. $15,6 \times 10^{-6}$ s
 - B. $20,2 \times 10^{-6}$ s
 - C. $22,0 \times 10^{-6}$ s
 - D. $30,0 \times 10^{-6}$ s
3. Sebuah kincir angin ketika diamati oleh seorang pengamat yang diam di bumi, untuk berputar satu kali membutuhkan waktu 5,00 sekon. Berapakah waktu yang dibutuhkan oleh kincir angin tersebut untuk berputar satu kali menurut seorang pengamat yang bergerak relatif terhadap bumi dengan kecepatan $0,96 c$?
 - A. $24/25$ s



- B. $25/7$ s
- C. $(25 \times 5)/7$ s
- D. $(24 \times 5)/7$ s
4. Berapakah momentum dari proton yang bergerak dengan kecepatan $0,96c$ jika massa diam proton adalah $1,6 \times 10^{-27}$ kg?
- A. $\frac{4,608 \times 10^{-19}}{\sqrt{1-0,9216}}$
- B. $\frac{4,608 \times 10^{-19}}{\sqrt{1+0,9216}}^2$
- C. $\frac{1,6 \times 10^{-19}}{\sqrt{1-0,9216}}$
- D. $\frac{4,608 \times 10^{-19}}{\sqrt{0,9216-1}}$
5. Sebuah pesawat angkasa bergerak dengan kelajuan $0,990c$ relatif terhadap bumi. Salah seorang awak pesawat itu mengukur panjang pesawat dan memperoleh hasil 400 m. Berapakah panjang pesawat itu jika diukur oleh pengamat di bumi?
- A. $(400m)\sqrt{1-(0,990)^2}$ m
- B. $(400m)\sqrt{1+(0,990)^2}$ m
- C. $(400m)\sqrt{(0,990)^2-1}$ m
- D. $(400m)\sqrt{(0,990)^2+1}$ m
6. Sebuah elektron bermassa $9,11 \times 10^{-31}$ kg bergerak dengan laju $0,75c$. Hitunglah besar momentum relativistiknya!
- A. $\frac{0,75 \times 10^{-31} \text{ kg m/s}}{\sqrt{0,4375}}$
- B. $\frac{2,050 \times 10^{-31} \text{ kg m/s}}{\sqrt{0,5}}$
- C. $\frac{2,050 \times 10^{-31} \text{ kg m/s}}{\sqrt{0,75}}$



- D. $3,10 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
7. Sebuah benda yang mula-mula diam, meledak menjadi dua bagian yang masing-masing memiliki massa diam 1kg serta bergerak saling menjauhi dengan kelajuan yang sama, yaitu $0,6c$. Berapakah massa diam benda mula-mula?
- A. 1,5 kg
B. 2,5 kg
C. 3,0 kg
D. 4,5 kg
8. Elektron dengan energi diam 0,511 MeV bergerak dengan laju $v = 0,8c$. Berapakah energi total elektron tersebut?
- A. $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
B. $8,19 \times 10^{-14} \text{ J}$
C. $3,11 \times 10^5 \text{ eV}$
D. $5,11 \times 10^5 \text{ eV}$
9. Dua orang A dan B adalah anak kembar. Pada umur 20 tahun A pergi ke ruang angkasa dengan pesawat yang lajunya $0,8 c$ dan kembali ke bumi pada saat B berumur 30 tahun. Berapakah umur B menurut A yang baru kembali?
- A. 6 tahun
B. 10 tahun
C. 26 tahun
D. 30 tahun
10. Sebuah bola perak digantungkan pada seutas tali dalam kamar vakum dan cahaya ultraviolet yang panjang gelombangnya 2000 \AA diarahkan pada bola itu. Berapa besar potensial listrik yang timbul pada bola sebagai akibat penyinaran itu?
- A. 8.6 Volt
B. 6.6 Volt
C. 6,2 Volt



- D. 4,0 Volt
11. Panjang gelombang ambang pancaran fotoelektrik pada tungsten ialah 2300 Å. Berapa besar panjang gelombang cahaya yang harus dipakai supaya electron dengan energi maksimum 1.5 eV terlempar ke luar?
- A. 1800 Å
B. 1000 Å
C. 800 Å
D. 400 Å
12. Frekuensi ambang pancaran fotoelektrik dalam tembaga ialah 1.1×10^{15} Hz. Tentukan energi maksimum fotoelektron (dalam elektronvolt) bila cahaya yang berfrekuensi 1.5×10^{15} Hz ditembakkan pada permukaan tembaga!
- A. 6.62 eV
B. 2.65 eV
C. 1.65 eV
D. 0.9 eV
13. Cahaya dengan panjang gelombang 4.200 Å jatuh pada permukaan cesium dengan laju 5 mW. Bila efisiensi kuantum 10^{-4} , tentukan arus fotoelektrik yang terjadi!
- A. 2.90 V
B. 2.98 V
C. 2.75 V
D. 2.65 V
14. Mesin sinar-x yang menghasilkan sinar x 0,1 Å. Berapa besar tegangan pemercepat yang dipakai?
- A. $1,24 \times 10^5$ volt
B. $1,24 \times 10^6$ volt
C. $1,24 \times 10^6$ volt
D. $1,24 \times 10^8$ volt



15. Jarak antara bidang atomic yang bersebelahan dalam kalsit ialah 3×10^{-10} m. berapa sudut terkecil antara bidang-bidang ini dengan dengan berkas sinar x $0,3 \text{ \AA}$ yang datang supaya sinar x yang terhambur dapat dideteksi?
- A. 2,0 volt
B. 2,9 volt
C. 1,9 volt
D. 2,5 volt
16. Seberkas sinar x terhambur oleh electron bebas. Pada suhu 450 dari arah berkas itu sinar x yang terhambur memiliki panjang gelombang $0,022 \text{ \AA}$. Berapa besar panjang gelombang sinar x datang?
- A. $0,015 \text{ \AA}$
B. $0,022 \text{ \AA}$
C. $0,027 \text{ \AA}$
D. $0,045 \text{ \AA}$
17. Panjang gelombang salah satu garis pada deret Balmer adalah $6,5628 \cdot 10^{-7}$ meter. Berapakah energi foron yang menyebabkan terjadinya garis tersebut!
- A. 4.5 eV
B. 3 eV
C. 2 eV
D. 1.6 eV
18. Tentukan energi yang dibutuhkan untuk mengionisasi atom hidrogen (elektron berada pada bilangan kuantum ke 1)!
- A. $2,181 \cdot 10^{-18}$ joule
B. $3,181 \cdot 10^{-18}$ joule
C. $4,181 \cdot 10^{-18}$ joule
D. $6,181 \cdot 10^{-18}$ joule
19. Tentukan panjang gelombang foton yang dipancarkan bila atom hidrogen bertransisi dari keadaan $n = 10$ ke keadaan dasar.
- A. $\frac{1}{1,097 \cdot 10^7}$ meter



B. $\frac{1,097 \cdot 10^7}{1}$ meter

C. $\frac{1}{9 \times 10^{-9}}$ meter

D. 9×10^{-9} meter

20. Berapa besar energi yang diperlukan untuk mengeluarkan elektron dalam keadaan $n = 2$ dari atom hidrogen.

A. $\frac{-13,6}{4} eV$

B. $\frac{13,6}{4} eV$

C. $\frac{-4}{13,6} eV$

D. $\frac{4}{13,6} eV$

PENUTUP

Demikian telah kami susun Modul Pembinaan Karier Guru melalui Peningkatan Kompetensi, Kelompok Kompetensi I untuk guru Fisika SMA, dengan harapan dapat membantu Anda meningkatkan pemahaman terhadap materi Fisika Modern, yang selanjutnya dapat Anda implementasikan dalam pelaksanaan pembelajaran Fisika di sekolah masing-masing demi tercapainya pembelajaran yang berkualitas.

Materi yang disajikan dalam modul ini tidak terlalu sulit untuk dipelajari sehingga mudah dipahami. Modul ini berisikan konsep-konsep inti dan petunjuk-petunjuk praktis dalam pengembangan instrumen penilaian dengan bahasa yang mudah dipahami. Anda dapat mempelajari materi dan berlatih melalui berbagai aktivitas, tugas, latihan, dan soal-soal yang telah disajikan. Selanjutnya, Anda perlu terus memiliki semangat membaca bahan-bahan yang lain untuk memperluas wawasan tentang penyusunan instrumen penilaian.

Materi yang disajikan dalam modul ini disiapkan untuk guru pada kegiatan diklat baik secara mandiri maupun tatap muka di lembaga pelatihan atau di MGMP. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi profesional yang harus dicapai guru pada Kelompok Kompetensi I. Guru dapat belajar dan melakukan kegiatan diklat ini sesuai dengan rambu-rambu/instruksi yang tertera pada modul baik berupa diskusi materi, latihan soal, dst.

Bagi Anda yang menggunakan modul ini dalam pelaksanaan moda tatap muka kombinasi (*in-on-in*), Anda masih perlu menyelesaikan beberapa kegiatan pembelajaran secara mandiri ataupun kolaboratif bersama rekan guru di sekolah masing-masing (*on the job learning*). Adapun pembelajaran mandiri yang perlu Anda lakukan adalah **LK I1.03, LK I2.03, dan LK I3.03** berkaitan dengan **Tugas Mengembangkan Soal USBN**. Produk pembelajaran yang telah Anda hasilkan



selama *on the job learning* akan menjadi tagihan yang akan dipresentasikan dan dikonfirmasi pada kegiatan tatap muka kedua (*in-2*).

Akhirnya, tak ada gading yang tak retak, begitu pula dengan modul ini yang masih perlu terus kami perbaiki untuk mencapai taraf kualitas yang lebih baik lagi. Oleh karena itu, kami menunggu dan mengharapkan saran-saran yang konstruktif dan membangun untuk memperbaiki modul ini lebih lanjut. Sekian dan terima kasih, semoga semua pengguna modul meraih kesuksesan, dan selalu mendapat ridho-Nya.

DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, Arthur. 1990. *Konsep Fisika Modern. Edisi keempat*. Terjemahan The Houw Liong. Jakarta : Erlangga. .
- Dwi Teguh Rahardjo, Supurwoko. 2013. *Modul PLPG, Pendalaman Materi Bidang Studi Fisika*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Giancoli, Douglas C. 2005. *Physics: principles with applicationc*, 6th ed. Pearson Prentice Hall: New Jersey
- Hewitt, P.G. ,2006. *Conceptual Physics 10th editions*. New York : Adison Wesley
- Serway, R.A., 2009. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 8th editition*. California : Brooks/Cole.
- Sutopo. 2004. *Pengantar Fisika Kuantum*. Malang:Universitas Negeri Malang
- Thornton, Stephen T., Rex, Andrew. 2013. *Modern Physics for Scientists and Engineers 4th editions*. Boston USA. Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Tim Penulis. 2001. *High School Instructional Guide for Physics*. Los Angeles: Los Angeles Unified School District
- Yohanes Surya. 1996. *Olimpiade Fisika*. Jakarta : Primatika Cipta Ilmu

GLOSARIUM

1.	Deret Balmer: Deret di sekitar panjang gelombang cahaya tampak
2.	Deret Lyman : Deret di sekitar panjang gelombang ultraviolet
3.	Deret Paschen: Deret di sekitar panjang gelombang infra merah
4.	Eksitasi : atom menerima energi hingga elektron pindah ke tingkat energi yang lebih tinggi
5.	De-eksitasi : atom memancarkan energi dan elektron pindah ke tingkat energi yang lebih rendah atau ke tingkat energi semula.
6.	Bilangan kuantum utama; bilangan yang berhubungan dengan jarak tingkat energi yang diduduki elektron ke inti atom
7.	Bilangan kuantum orbital; bilangan yang berhubungan dengan momentum sudut orbital electron
8.	Bilangan kuantum magnetik; bilangan yang berhubungan dengan pengaruh medan magnet hingga menyebabkan orientasi elektron
9.	Bilangan kuantum spin; bilangan yang berhubungan dengan arah putaran spin elektron
10.	Proton: partikel inti yang bermuatan positif
11.	Neutron: partikel inti yang tidak bermuatan
12.	Elektron: partikel kulit atom yang bermuatan negative
13.	Deutron: partikel inti yang bermuatan positif +e dengan 1 neutron
14.	Positron: partikel inti yang bermuatan positif +e dengan tanpa neutron

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

KISI-KISI UJIAN SEKOLAH BERSTANDAR NASIONAL SEKOLAH MENENGAH ATAS / MADRASAH ALIYAH KURIKULUM 2013 TAHUN PELAJARAN 2016/2017

MATA PELAJARAN: FISIKA

Level Kognitif	Pengukuran dan Kinematika	Dinamika	Usaha dan Energi	Kalor	Gelombang dan Optik	Listrik, Magnet, dan Fisika Modern
Pengetahuan dan pemahaman <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mengidentifikasi ▪ Menyebutkan ▪ Menunjukkan ▪ Membedakan ▪ Mengelompokkan ▪ Menjelaskan 	Siswa mampu memahami: <ul style="list-style-type: none"> ▪ pengukuran ▪ besaran fisika ▪ vektor ▪ gerak lurus ▪ gerak melingkar ▪ gerak parabola 	Siswa mampu memahami: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gaya ▪ hukum newton ▪ momen gaya ▪ momen inersia ▪ fluida (statik dan dinamik) ▪ gravitasi Newton ▪ gerak harmonik sederhana 	Siswa mampu memahami: <ul style="list-style-type: none"> ▪ usaha ▪ impuls ▪ momentum ▪ tumbukan ▪ sumber daya energi 	Siswa mampu memahami: <ul style="list-style-type: none"> ▪ kalor ▪ perpindahan kalor ▪ teori kinetik gas 	Siswa mampu memahami: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gelombang ▪ bunyi ▪ gelombang cahaya ▪ gelombang elektromagnet ▪ elastisitas ▪ pemanasan global ▪ alat optik 	Siswa mampu memahami: <ul style="list-style-type: none"> ▪ listrik statis ▪ listrik dinamis ▪ kemagnetan ▪ fisika inti ▪ efek foto listrik ▪ transmisi daya ▪ induksi elektromagnetik
Aplikasi <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mengklasifikasi ▪ Menginterpretasi ▪ Menghitung ▪ Mendeskripsikan ▪ Mengukur ▪ Membandingkan ▪ Menerapkan ▪ Memodifikasi 	Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ pengukuran ▪ vektor ▪ gerak lurus ▪ gerak melingkar ▪ gerak parabola 	Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gaya ▪ hukum newton ▪ momen gaya ▪ momen inersia ▪ keseimbangan benda tegar ▪ titik berat ▪ fluida (statik dan dinamik) ▪ gravitasi Newton ▪ gerak harmonik sederhana 	Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ usaha ▪ energi ▪ impuls ▪ momentum ▪ tumbukan 	Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ kalor ▪ perpindahan kalor ▪ teori kinetik gas 	Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gelombang ▪ bunyi ▪ gelombang cahaya ▪ gelombang electromagnet ▪ elastisitas 	Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ listrik statis ▪ listrik dinamis ▪ kemagnetan ▪ fisika inti ▪ efek foto listrik ▪ induksi elektromagnetik
Penalaran <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menemukan ▪ Menyimpulkan ▪ Menggabungkan ▪ Menganalisis ▪ Memecahkan masalah 	Siswa mampu bernalar tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ vektor ▪ gerak lurus ▪ gerak melingkar ▪ gerak parabola 	Siswa mampu bernalar tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gaya ▪ hukum newton ▪ momen gaya ▪ momen inersia ▪ keseimbangan benda tegar 	Siswa mampu bernalar tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ impuls ▪ momentum ▪ tumbukan 	Siswa mampu bernalar tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ kalor ▪ perpindahan kalor 	Siswa mampu bernalar tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gelombang cahaya ▪ pemanasan Global 	Siswa mampu bernalar tentang: <ul style="list-style-type: none"> ▪ fisika inti ▪ induksi elektromagnetik



LAMPIRAN 2

KISI-KISI UJIAN SEKOLAH BERSTANDAR NASIONAL
SEKOLAH MENENGAH ATAS / MADRASAH ALIYAH
KURIKULUM 2006 TAHUN PELAJARAN 2016/2017

MATA PELAJARAN: FISIKA

Level Kognitif	Pengukuran dan Kinematika	Dinamika	Usaha dan Energi	Kalor	Gelombang dan Optik	Listrik, Magnet, dan Fisika Modern
<p>Pengetahuan dan pemahaman</p> <ul style="list-style-type: none"> Mengidentifikasi Menyebutkan Menunjukkan Membedakan Mengelompokkan Menjelaskan 	<p>Siswa mampu memahami:</p> <ul style="list-style-type: none"> pengukuran besaran fisika vektor gerak lurus gerak melingkar gerak parabola 	<p>Siswa mampu memahami:</p> <ul style="list-style-type: none"> gaya hukum newton momen gaya momen inersia fluida (statik dan dinamik) gravitasi Newton gerak harmonik sederhana 	<p>Siswa mampu memahami:</p> <ul style="list-style-type: none"> usaha impuls momentum tumbukan 	<p>Siswa mampu memahami:</p> <ul style="list-style-type: none"> kalor perpindahan kalor teori kinetik gas termodinamika 	<p>Siswa mampu memahami:</p> <ul style="list-style-type: none"> gelombang bunyi optik fisis gelombang elektromagnet elastisitas alat optik 	<p>Siswa mampu memahami:</p> <ul style="list-style-type: none"> listrik statis listrik dinamis kemagnetan efek foto listrik relativitas teori atom fisika inti radioaktivitas
<p>Aplikasi</p> <ul style="list-style-type: none"> Mengklasifikasi Menginterpretasi Menghitung Mendeskrripsikan Mengurutkan Membandingkan Menerapkan Memodifikasi 	<p>Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> pengukuran vektor gerak lurus gerak melingkar gerak parabola 	<p>Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> gaya hukum newton momen gaya momen inersia keseimbangan benda tegar titik berat fluida (statik dan dinamik) gravitasi Newton gerak harmonik sederhana 	<p>Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> usaha energi impuls momentum tumbukan 	<p>Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> kalor perpindahan kalor teori kinetik gas termodinamika 	<p>Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> gelombang bunyi optik fisis gelombang elektromagnet elastisitas alat optik 	<p>Siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> listrik statis listrik dinamis kemagnetan efek foto listrik relativitas fisika inti radioaktivitas
<p>Penalaran</p> <ul style="list-style-type: none"> Menemukan Menyimpulkan Menggabungkan Menganalisis Memecahkan masalah 	<p>Siswa mampu bernalar tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> vektor gerak lurus gerak melingkar gerak parabola 	<p>Siswa mampu bernalar tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> gaya hukum newton momen gaya momen inersia keseimbangan benda tegar gerak harmonik sederhana 	<p>Siswa mampu bernalar tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> impuls momentum tumbukan 	<p>Siswa mampu bernalar tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> kalor perpindahan kalor termodinamika 	<p>Siswa mampu bernalar tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> optik fisis 	<p>Siswa mampu bernalar tentang:</p> <ul style="list-style-type: none"> fisika inti relativitas



LAMPIRAN 3

KISI-KISI PENULISAN SOAL

Jenis Sekolah :
Mata Pelajaran :
Kurikulum : *KTSP-2006 /K-13*
Alokasi waktu :
Jumlah Soal :
Bentuk Soal : *Pilihan Ganda/Uraian*
Tahun Ajaran :

No.	Kompetensi Dasar	Bahan Kls/ Semester	Konten/Materi	Indikator Soal	Bentuk Soal



LAMPIRAN 4

KARTU SOAL NOMOR 1 (PILIHAN GANDA)

Mata Pelajaran	:
Kelas/Semester	:
Kurikulum	:
Kompetensi Dasar	:
Materi	:
Indikator Soal	:
Level Kognitif	:

Soal:

Kunci/Pedoman Penskoran:

Keterangan:

Soal ini termasuk soal HOTS karena

1.
2.
3.



LAMPIRAN 5

**KARTU SOAL NOMOR 1
(URAIAN)**

Mata Pelajaran :
Kelas/Semester :
Kurikulum :

Kompetensi Dasar	:	
Materi	:	
Indikator Soal	:	
Level Kognitif	:	

Soal:

PEDOMAN PENSKORAN

No.	Uraian Jawaban/Kata Kunci	Skor
	Total Skor	

Keterangan:

Soal ini termasuk soal HOTS karena:

1.
2.



LAMPIRAN 6

INSTRUMEN TELAAH SOAL *HOTS*
BENTUK TES PILIHAN GANDA

Nama Pengembang Soal :
Mata Pelajaran :
Kls/Prog/Peminatan :

No.	Aspek yang ditelaah	Butir Soal				
		1	2	3	4	5
A. Materi						
1.	Soal sesuai dengan indikator.					
2.	Soal tidak mengandung unsur SARAPPPK (Suku, Agama, Ras, Anatargolongan, Pornografi, Politik, Propopaganda, dan Kekerasan).					
3.	Soal menggunakan stimulus yang menarik (baru, mendorong peserta didik untuk membaca).					
4.	Soal menggunakan stimulus yang kontekstual (gambar/grafik, teks, visualisasi, dll, sesuai dengan dunia nyata)*					
5.	Soal mengukur level kognitif penalaran (menganalisis, mengevaluasi, mencipta). Sebelum menentukan pilihan, peserta didik melakukan tahapan-tahapan tertentu.					
6.	Jawaban tersirat pada stimulus.					
7.	Pilihan jawaban homogen dan logis.					
8.	Setiap soal hanya ada satu jawaban yang benar.					
B. Konstruksi						
8.	Pokok soal dirumuskan dengan singkat, jelas, dan tegas.					
9.	Rumusan pokok soal dan pilihan jawaban merupakan pernyataan yang diperlukan saja.					
10.	Pokok soal tidak memberi petunjuk ke kunci jawaban.					
11.	Pokok soal bebas dari pernyataan yang bersifat negatif ganda.					
12.	Gambar, grafik, tabel, diagram, atau sejenisnya jelas dan berfungsi.					
13.	Panjang pilihan jawaban relatif sama.					
14.	Pilihan jawaban tidak menggunakan pernyataan "semua jawaban di atas salah" atau "semua jawaban di atas benar" dan sejenisnya.					
15.	Pilihan jawaban yang berbentuk angka/waktu disusun berdasarkan urutan besar kecilnya angka atau kronologisnya.					
16.	Butir soal tidak bergantung pada jawaban soal lain.					
C. Bahasa						
17.	Menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia, untuk bahasa daerah dan bahasa asing sesuai kaidahnya.					
18.	Tidak menggunakan bahasa yang berlaku setempat/tabu.					
19.	Soal menggunakan kalimat yang komunikatif.					
20.	Pilihan jawaban tidak mengulang kata/kelompok kata yang sama, kecuali merupakan satu kesatuan pengertian.					

*) Khusus mata pelajaran bahasa dapat menggunakan teks yang tidak kontekstual (fiksi, karangan, dan sejenisnya).

***) Pada kolom nomor soal diisikan tanda silang (X) bila soal tersebut tidak memenuhi kaidah.

.....
Penelaah

.....
NIP.



LAMPIRAN 7

INSTRUMEN TELAAH SOAL HOTS BENTUK TES URAIAN

Nama Pengembang Soal :
Mata Pelajaran :
Kls/Prog/Peminatan :

No.	Aspek yang ditelaah	Butir Soal				
		1	2	3	4	5
A. Materi						
1.	Soal sesuai dengan indikator (menuntut tes tertulis untuk bentuk Uraian).					
2.	Soal tidak mengandung unsur SARAPPPK (Suku, Agama, Ras, Anatar golongan, Pornografi, Politik, Propopaganda, dan Kekerasan).					
3.	Soal menggunakan stimulus yang menarik (baru, mendorong peserta didik untuk membaca).					
4.	Soal menggunakan stimulus yang kontekstual (gambar/grafik, teks, visualisasi, dll, sesuai dengan dunia nyata)*					
5.	Soal mengukur level kognitif penalaran (menganalisis, mengevaluasi, mencipta). Sebelum menentukan pilihan, peserta didik melakukan tahapan-tahapan tertentu.					
6.	Jawaban tersirat pada stimulus.					
B. Konstruksi						
6.	Rumusan kalimat soal atau pertanyaan menggunakan kata-kata tanya atau perintah yang menuntut jawaban terurai.					
7.	Memuat petunjuk yang jelas tentang cara mengerjakan soal.					
8.	Ada pedoman penskoran/rubrik sesuai dengan kriteria/kalimat yang mengandung kata kunci.					
9.	Gambar, grafik, tabel, diagram, atau sejenisnya jelas dan berfungsi.					
10.	Butir soal tidak bergantung pada jawaban soal lain.					
C. Bahasa						
11.	Menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia, untuk bahasa daerah dan bahasa asing sesuai kaidahnya.					
12.	Tidak menggunakan bahasa yang berlaku setempat/tabu.					
13.	Soal menggunakan kalimat yang komunikatif.					

*) Khusus mata pelajaran bahasa dapat menggunakan teks yang tidak kontekstual (fiksi, karangan, dan sejenisnya).

**) Pada kolom nomor soal diisikan tanda silang (X) bila soal tersebut tidak memenuhi kaidah.

.....
Penelaah

.....
NIP.

MODUL
PENGEMBANGAN KEPROFESIAN
BERKELANJUTAN
FISIKA SMA

TERINTEGRASI
PENGUATAN PENDIDIKAN
KARAKTER



**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik
dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam (PPPPTK IPA)**
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

facebook.com/p4tkipainfo 

p4tkipa.org  youtube.com/pppptkipa 

p4tkipa@yahoo.com  022 4265127 - 70417266 

Jl. Diponegoro No. 12 
Bandung - Jawa Barat 022 4231191 