

MODUL AJAR FISIKA

Pendekatan STEM Berorientasi Pembelajaran Mendalam (Deep Learning)

Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Proyek: Merancang Mobil Sederhana Bertenaga Angin

SMA Bener Meriah

Kelas X / Fase E — Semester Ganjil

Tahun Pelajaran 2026/2027

1. Analisis Awal Materi

Berikut analisis awal terhadap materi Gerak Lurus Beraturan (GLB) sebelum penyusunan pembelajaran, untuk memastikan integrasi STEM benar-benar melekat pada konsep Fisika, bukan sekadar label.

Aspek	Analisis
Konsep Fisika utama	Gerak Lurus Beraturan (GLB): benda bergerak pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap (percepatan = 0); hubungan jarak (s), kecepatan (v), dan waktu (t) melalui persamaan $v = s/t$ atau $s = v \cdot t$
Fenomena nyata	Mobil di jalan tol lurus saat cruise control, kereta api di rel lurus, ban berjalan (konveyor) di pabrik, lift yang bergerak stabil, mainan mobil bertenaga angin/layar
Permasalahan kontekstual	Bagaimana merancang kendaraan sederhana yang mampu bergerak lurus dengan kecepatan relatif tetap hanya menggunakan tenaga angin (tanpa mesin atau baterai)?
Potensi eksperimen	Mengukur jarak tempuh mobil-mobilan/troli pada interval waktu tertentu menggunakan mistar dan stopwatch (atau aplikasi slow-motion smartphone), lalu membuat grafik s–t dan v–t
Unsur Science	Konsep GLB, gaya dorong angin pada layar/baling-baling, gaya gesek, Hukum I dan II Newton sebagai dasar gerak benda
Unsur Technology	Aplikasi stopwatch/slow-motion & video analysis pada smartphone, kipas angin/hair dryer sebagai sumber angin terkendali, spreadsheet (Excel/Google Sheets) untuk mengolah data dan membuat grafik
Unsur Engineering	Proses merancang, membangun, menguji, dan memperbaiki (redesign) prototipe mobil bertenaga angin dari bahan daur ulang
Unsur Mathematics	Perhitungan kecepatan rata-rata ($v = s/t$), pembuatan tabel data, penggambaran dan interpretasi grafik linear s–t dan v–t, perhitungan gradien grafik sebagai kecepatan
Produk/prototipe yang dapat dibuat	Mobil sederhana bertenaga angin dari kardus/botol bekas, roda dari tutup botol/CD bekas, poros tusuk sate, dan layar dari kertas karton/plastik
Keterampilan abad ke-21	Berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, dan pemecahan masalah (4C)
Potensi HOTS	Menganalisis kelinieran grafik s–t sebagai bukti GLB, mengevaluasi efisiensi rancangan mobil, merumuskan perbaikan desain berdasarkan data hasil uji

2. Identitas Pembelajaran

No	Komponen	Keterangan
1	Satuan Pendidikan	SMA
2	Mata Pelajaran	Fisika
3	Kelas / Fase	X / Fase E
4	Semester	Ganjil (asumsi — sesuaikan dengan program semester satuan pendidikan)
5	Tahun Pelajaran	2026/2027 (asumsi — sesuaikan)
6	Materi	Gerak Lurus Beraturan (GLB)
7	Alokasi Waktu	6 JP (3 pertemuan $\times$ 2 JP $\times$ 45 menit)
8	Jumlah Peserta Didik	36 peserta didik / 6 kelompok (asumsi — sesuaikan dengan data riil)

No	Komponen	Keterangan
9	Model Pembelajaran	Project Based Learning (PjBL)
10	Pendekatan	STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)
11	Orientasi	Pembelajaran Mendalam (Deep Learning) — Berkesadaran, Bermakna, Menggembirakan
12	Target Peserta Didik	Peserta didik reguler, dengan diferensiasi bagi yang berkemampuan rendah dan tinggi

3. Capaian dan Tujuan Pembelajaran

A. Capaian Pembelajaran (CP)

Pada akhir Fase E, peserta didik mampu mendeskripsikan gejala alam dalam cakupan keterampilan proses untuk menjelaskan konsep gerak lurus, termasuk Gerak Lurus Beraturan (GLB), melalui pengukuran besaran fisis (jarak, waktu, kecepatan) secara langsung dan tidak langsung, mengolah data hasil pengukuran dalam bentuk grafik, mengevaluasi keterbatasan dan kelebihan penyelidikan, serta merancang dan menguji solusi rekayasa sederhana berdasarkan konsep gerak. (Rumusan CP bersifat asumsi berdasarkan elemen Pemahaman Fisika & Keterampilan Proses Kurikulum Merdeka — mohon disesuaikan dengan dokumen CP resmi mata pelajaran Fisika Fase E yang berlaku di satuan pendidikan.)

B. Tujuan Pembelajaran (TP)

Melalui pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan STEM, peserta didik mampu:

1. Menjelaskan konsep Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan ciri-cirinya berdasarkan fenomena nyata.
2. Mengidentifikasi contoh fenomena GLB dalam kehidupan sehari-hari dan lingkungan sekolah.
3. Melakukan pengukuran jarak dan waktu tempuh benda bergerak menggunakan alat ukur dan aplikasi smartphone.
4. Menganalisis data hasil pengukuran dalam bentuk tabel dan grafik s - t serta v - t untuk membuktikan gerak GLB.
5. Menggunakan persamaan $v = s/t$ untuk menghitung kecepatan rata-rata benda.
6. Merancang solusi rekayasa berupa mobil sederhana bertenaga angin berdasarkan prinsip GLB.
7. Membuat dan menguji prototipe mobil bertenaga angin serta mengumpulkan data hasil pengujian.
8. Mengomunikasikan hasil rancangan, data, dan kesimpulan secara lisan maupun tertulis.
9. Melakukan refleksi terhadap proses belajar dan hasil rancangan yang telah dibuat.

C. Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP)

- Peserta didik dapat menuliskan definisi dan ciri GLB dengan bahasa sendiri (v tetap, $a = 0$, grafik s - t linear).
- Peserta didik dapat menyebutkan minimal 3 contoh fenomena GLB di sekitar sekolah.
- Peserta didik dapat mengukur jarak dan waktu tempuh benda dengan galat pengukuran yang wajar.
- Peserta didik dapat menyajikan data dalam tabel dan grafik s - t serta menentukan kecepatan dari gradien grafik.
- Peserta didik dapat menghitung kecepatan rata-rata dengan persamaan $v = s/t$ secara tepat.
- Peserta didik dapat membuat sketsa/desain mobil bertenaga angin yang memuat bagian layar/baling-baling, badan mobil, dan roda.
- Peserta didik dapat merakit prototipe mobil bertenaga angin yang dapat bergerak minimal 1 meter.
- Peserta didik dapat mempresentasikan hasil rancangan dan data pengujian di depan kelas.
- Peserta didik dapat mengisi lembar refleksi belajar secara jujur dan reflektif.

4. Penerapan Prinsip Pembelajaran Mendalam

Berkesadaran (Mindful)

Di awal setiap pertemuan, guru menyampaikan tujuan pembelajaran dan alur kegiatan secara eksplisit, serta mengajak peserta didik menuliskan target belajar pribadi pada LKPD. Peserta didik diminta menyadari tahap proses engineering

yang sedang mereka jalani (identify–define–explore–design–create–test–improve–communicate) sehingga memahami "sedang di mana" dan "mengapa" dalam proses belajarnya.

Bermakna (Meaningful)

Konsep GLB dikaitkan langsung dengan fenomena transportasi dan energi angin yang dekat dengan kehidupan peserta didik di wilayah dataran tinggi Gayo yang berangin. Peserta didik tidak sekadar menghafal rumus $v = s/t$, tetapi menggunakannya untuk memecahkan masalah nyata: merancang kendaraan tanpa bahan bakar fosil yang bergerak dengan kecepatan tetap.

Menggembirakan (Joyful)

Pembelajaran dikemas melalui kompetisi ramah antar kelompok (mobil siapa yang paling lurus dan stabil lintasannya), kerja praktik langsung membuat prototipe, diskusi kelompok, serta sesi "uji jalan" mobil di lapangan sekolah yang melibatkan tantangan dan apresiasi bersama.

5. Pemahaman Bermakna

- Gerak dengan kecepatan tetap (GLB) dapat dikenali dari grafik jarak terhadap waktu yang berbentuk garis lurus.
- Kecepatan suatu benda dapat dihitung dari perbandingan jarak tempuh dan waktu yang diperlukan.
- Prinsip Fisika dapat dimanfaatkan untuk merancang teknologi sederhana yang ramah lingkungan, seperti kendaraan bertenaga angin.
- Data hasil pengukuran perlu diolah dan dianalisis secara sistematis untuk menarik kesimpulan ilmiah yang valid.
- Proses rekayasa (engineering) selalu melibatkan siklus uji coba dan perbaikan (iterasi) untuk menghasilkan solusi terbaik.

6. Pertanyaan Pemantik

- Pernahkah kalian memperhatikan mobil yang melaju di jalan tol lurus dengan kecepatan yang tampak tetap? Apa yang membuatnya bisa bergerak seperti itu?
- Bagaimana cara kita mengetahui apakah suatu benda bergerak dengan kecepatan tetap tanpa menggunakan speedometer?
- Jika angin dapat menggerakkan layar kapal, mungkinkah angin juga digunakan untuk menggerakkan mobil-mobilan di darat?
- Apa yang akan terjadi pada grafik jarak terhadap waktu jika kecepatan benda tetap dari awal hingga akhir?
- Bagaimana kita bisa merancang kendaraan sederhana yang bergerak lurus dan stabil hanya menggunakan tenaga angin?

7. Integrasi STEM

Komponen STEM	Implementasi pada Pembelajaran Fisika	Aktivitas Konkret Peserta Didik
Science	Konsep GLB: hubungan jarak, waktu, dan kecepatan tetap; gaya dorong angin dan gaya gesek	Melakukan pengamatan dan eksperimen mengukur gerak troli/mobil mainan, mengidentifikasi gaya yang bekerja pada mobil angin
Technology	Pemanfaatan aplikasi stopwatch/slow-motion smartphone dan spreadsheet untuk pengolahan data	Merekam gerak mobil menggunakan kamera smartphone, mengolah data waktu-jarak di Google Sheets, membuat grafik otomatis
Engineering	Proses merancang, membangun, menguji, dan memperbaiki prototipe mobil bertenaga angin	Membuat sketsa desain, merakit mobil dari bahan daur ulang, menguji di lintasan, memperbaiki desain layar/roda

Komponen STEM	Implementasi pada Pembelajaran Fisika	Aktivitas Konkret Peserta Didik
Mathematics	Perhitungan kecepatan rata-rata, pembuatan tabel dan grafik linear, penentuan gradien grafik	Menghitung $v = s/t$ dari data hasil uji, menggambar grafik $s-t$, menentukan kecepatan mobil dari kemiringan grafik

8. Skenario Masalah Nyata

Wilayah Pintu Rime Gayo yang berada di dataran tinggi sering mengalami angin yang cukup kencang, terutama pada sore hari. Sementara itu, isu keterbatasan bahan bakar fosil dan pentingnya energi terbarukan menjadi perhatian global. Kepala sekolah mengumumkan akan diadakan "Pameran Karya Sains dan Teknologi Ramah Lingkungan" tingkat sekolah. Setiap kelompok peserta didik ditantang untuk merancang dan membuat mobil sederhana yang dapat bergerak lurus dengan kecepatan relatif tetap tanpa menggunakan mesin, baterai, atau bahan bakar — hanya memanfaatkan tenaga angin. Mobil hasil rancangan akan diuji pada lintasan lurus sepanjang minimal 2 meter, dan kelompok harus dapat membuktikan secara data bahwa mobil mereka bergerak mendekati pola Gerak Lurus Beraturan.

Permasalahan ini memenuhi kriteria: berkaitan langsung dengan konsep GLB, dapat diselidiki melalui eksperimen pengukuran jarak-waktu, memiliki banyak kemungkinan desain (bentuk layar, jumlah baling-baling, jenis roda), menghasilkan prototipe nyata, dan menggunakan bahan-bahan sederhana seperti kardus, botol plastik bekas, tutup botol, tusuk sate, dan kertas karton yang mudah diperoleh di lingkungan sekolah.

9. Langkah-Langkah Pembelajaran

Pembelajaran dilaksanakan dalam 3 pertemuan (6 JP × 45 menit).

Pertemuan 1 (2 JP) — Identify, Define, Explore, Explain

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM / Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Salam, doa, presensi; apersepsi dengan bertanya pengalaman naik kendaraan di jalan lurus; menayangkan video mobil di jalan tol dan mobil mainan bertenaga angin; menyampaikan tujuan pembelajaran dan tantangan proyek	Menjawab pertanyaan pemantik, mengamati tayangan, menuliskan target belajar pribadi	Berkesadaran, Bermakna	20 menit
Inti – Identify & Define	Membimbing diskusi kelompok mengidentifikasi masalah dari skenario pameran sains; menjelaskan konsep dasar GLB ($v = s/t$) secara singkat	Berdiskusi merumuskan masalah, mencatat informasi yang diperlukan pada LKPD bagian identifikasi masalah	Science, Menggembirakan	20 menit
Inti – Explore	Membimbing eksperimen pengukuran gerak trolis/mobil mainan di lintasan lurus menggunakan mistar dan stopwatch/aplikasi slow-motion	Melakukan pengukuran jarak-waktu secara berkelompok, mencatat data pada tabel LKPD	Science, Technology, Mathematics	35 menit
Inti – Explain	Membimbing pengolahan data menjadi grafik $s-t$, menjelaskan ciri grafik GLB (garis lurus) dan cara menentukan kecepatan dari gradien	Membuat grafik $s-t$ dari data eksperimen, menghitung kecepatan rata-rata, menjelaskan hasil temuan ke kelompok lain	Mathematics, Bermakna	20 menit

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM / Deep Learning	Waktu
Penutup	Menyimpulkan konsep GLB bersama peserta didik, memberi tugas mempelajari prinsip gaya angin untuk pertemuan berikutnya	Menyimpulkan, bertanya, mencatat tugas	Berkesadaran	5 menit

Pertemuan 2 (2 JP) — Design, Create

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM / Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Salam, apersepsi mengulas hasil grafik GLB pertemuan sebelumnya; menjelaskan tantangan merancang mobil bertenaga angin; membagikan alat dan bahan	Mengingat kembali konsep GLB, menyimak instruksi proyek	Berkesadaran, Menggembirakan	15 menit
Inti – Design	Membimbing kelompok membuat sketsa desain mobil (bentuk layar/baling-baling, jenis roda, ukuran badan mobil) dengan mempertimbangkan prinsip GLB	Membuat sketsa rancangan pada LKPD, mendiskusikan prediksi kecepatan dan stabilitas	Engineering, Mathematics	30 menit
Inti – Create	Membimbing dan mengawasi proses perakitan prototipe mobil menggunakan bahan daur ulang (kardus, botol bekas, tusuk sate, tutup botol)	Merakit prototipe mobil bertenaga angin sesuai sketsa desain kelompok	Engineering, Technology	45 menit
Penutup	Mengingatkan kelompok merapikan alat/bahan dan menyiapkan mobil untuk uji coba pertemuan berikutnya	Merapikan alat dan bahan, menuliskan kendala yang dihadapi saat merakit	Berkesadaran	10 menit

Pertemuan 3 (2 JP) — Test, Analyze, Improve, Communicate

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM / Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Salam, apersepsi; menjelaskan prosedur uji coba mobil di lintasan lurus (minimal 2 meter) dan cara pengambilan data	Menyiapkan mobil dan alat ukur (mistar, stopwatch/aplikasi)	Berkesadaran	10 menit
Inti – Test & Analyze	Membimbing uji coba mobil di lapangan, memandu pengambilan data jarak-waktu 3 kali percobaan, membimbing pembuatan grafik s–t hasil uji	Menguji mobil, mencatat data, membuat grafik, menganalisis apakah gerak mendekati GLB	Science, Mathematics, Technology	35 menit
Inti – Improve	Membimbing kelompok mengevaluasi kekurangan desain (kecepatan tidak stabil, lintasan melenceng)	Memperbaiki bagian layar/roda, menguji ulang jika waktu memungkinkan	Engineering	20 menit

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM / Deep Learning	Waktu
	dan melakukan perbaikan singkat			
Inti – Communicate	Memandu presentasi tiap kelompok (hasil rancangan, data, grafik, kesimpulan) dan memberi umpan balik	Mempresentasikan hasil rancangan dan data, menanggapi kelompok lain	Menggembirakan, Bermakna	20 menit
Penutup	Membimbing kesimpulan akhir materi GLB dan proyek, memberikan evaluasi (asesmen sumatif), mengarahkan pengisian lembar refleksi	Mengerjakan asesmen sumatif, mengisi lembar refleksi diri	Berkesadaran	5 menit

10. Rancangan Eksperimen Fisika

Judul: Penyelidikan Gerak Lurus Beraturan pada Mobil Bertenaga Angin

Tujuan: Membuktikan bahwa mobil bertenaga angin hasil rancangan bergerak dengan pola mendekati Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan menentukan kecepatan rata-ratanya.

Rumusan masalah: Apakah mobil bertenaga angin hasil rancangan kelompok bergerak dengan kecepatan yang relatif tetap pada lintasan lurus?

Hipotesis: Mobil bertenaga angin akan bergerak dengan kecepatan yang relatif tetap (mendekati GLB) selama gaya dorong angin dan gaya gesek berada dalam keadaan seimbang, ditunjukkan oleh grafik $s-t$ yang mendekati garis lurus.

Variabel bebas: jarak tempuh mobil (diukur setiap interval tertentu, misalnya setiap 0,5 meter)

Variabel terikat: waktu tempuh mobil untuk mencapai tiap titik jarak

Variabel kontrol: sumber angin (kipas angin dengan kecepatan tetap), lintasan (permukaan lantai/lapangan yang sama dan rata), massa mobil

Alat dan bahan: prototipe mobil bertenaga angin, mistar/meteran, stopwatch atau aplikasi stopwatch smartphone, kipas angin/hair dryer, lintasan lurus sepanjang minimal 2 meter, alat tulis, lembar data

Keselamatan kerja

- Pastikan area lintasan bebas dari halangan dan orang lain saat pengujian berlangsung.
- Berhati-hati saat menggunakan kipas angin/hair dryer, jauhkan dari air dan jangan mengarahkan ke wajah.
- Gunakan gunting dan alat tajam lain sesuai prosedur keselamatan saat merakit prototipe.
- Bekerja sama dan bergantian dalam kelompok agar kegiatan pengukuran berjalan tertib.

Langkah kerja

10. Tandai lintasan lurus sepanjang 2 meter dengan interval tiap 0,5 meter menggunakan mistar/meteran.
11. Letakkan mobil bertenaga angin pada garis start.
12. Nyalakan sumber angin (kipas angin) dengan kecepatan tetap tepat di belakang mobil.
13. Jalankan stopwatch bersamaan saat mobil mulai bergerak.
14. Catat waktu saat mobil melewati setiap titik interval jarak (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m).
15. Ulangi percobaan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat.
16. Catat seluruh data pada tabel pengamatan.

Tabel pengamatan

Jarak (m)	Waktu Percobaan 1 (s)	Waktu Percobaan 2 (s)	Waktu Percobaan 3 (s)	Waktu Rata-rata (s)
0,5	...	...	...	...

Jarak (m)	Waktu Percobaan 1 (s)	Waktu Percobaan 2 (s)	Waktu Percobaan 3 (s)	Waktu Rata-rata (s)
1,0	...	...	...	...
1,5	...	...	...	...
2,0	...	...	...	...

Pengolahan data: Hitung kecepatan rata-rata pada tiap interval menggunakan $v = s/t$, kemudian buat grafik hubungan jarak (s) terhadap waktu rata-rata (t). Jika grafik berbentuk garis lurus melalui titik asal, maka gerak mobil mendekati GLB, dan gradien grafik menunjukkan nilai kecepatan mobil.

Persamaan Fisika yang digunakan: $v = s / t$, dengan v = kecepatan (m/s), s = jarak tempuh (m), t = waktu tempuh (s).

Analisis: Peserta didik membandingkan kecepatan pada tiap interval jarak; jika nilainya relatif konstan (selisih kecil), maka data mendukung hipotesis GLB. Peserta didik juga mendiskusikan sumber galat, misalnya reaksi angin yang tidak stabil atau gesekan roda.

Kesimpulan: Peserta didik menuliskan kesimpulan mengenai jenis gerak mobil hasil rancangan, nilai kecepatan rata-rata, dan faktor yang memengaruhi kestabilan gerak.

11. Engineering Design Process

Tahap	Aktivitas Peserta Didik
1. Identify the Problem	Mengidentifikasi tantangan membuat mobil bertenaga angin yang bergerak lurus dan stabil untuk Pameran Karya Sains
2. Research	Mencari informasi tentang prinsip GLB, gaya angin, dan contoh mobil bertenaga angin sederhana melalui buku/video/sumber daring
3. Brainstorm	Berdiskusi kelompok mengusulkan berbagai alternatif bentuk layar, jumlah baling-baling, dan jenis roda
4. Design	Memilih satu ide terbaik dan menuangkannya dalam sketsa desain lengkap dengan ukuran pada LKPD
5. Build	Merakit prototipe mobil sesuai sketsa menggunakan bahan yang tersedia
6. Test	Menguji mobil pada lintasan lurus dan mengambil data jarak-waktu
7. Evaluate	Mengevaluasi apakah gerak mobil mendekati GLB dan apakah desain sudah efisien berdasarkan data
8. Improve	Memperbaiki bagian desain yang kurang optimal (misalnya memperbesar layar atau mengganti roda)
9. Communicate	Mempresentasikan proses rancangan, data, grafik, dan kesimpulan kepada kelas

12. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis STEM

A. Identitas

Nama: _____ Kelas: _____ Kelompok: _____ Tanggal: _____

B. Judul Kegiatan

Merancang dan Menguji Mobil Sederhana Bertenaga Angin Berdasarkan Prinsip Gerak Lurus Beraturan

C. Tujuan

Peserta didik mampu menjelaskan konsep GLB, merancang, membuat, dan menguji prototipe mobil bertenaga angin, serta menganalisis data hasil pengujian.

D. Fenomena / Masalah

Sekolah akan mengadakan Pameran Karya Sains dan Teknologi Ramah Lingkungan. Kelompokmu ditantang merancang mobil sederhana yang bergerak lurus dengan kecepatan tetap hanya menggunakan tenaga angin.

E. Pertanyaan Investigasi

Apakah mobil bertenaga angin rancangan kelompok kami dapat bergerak dengan kecepatan yang relatif tetap (GLB)?

F. Hipotesis

Tuliskan dugaan sementara kelompokmu: _____

G. Alat dan Bahan

- Kardus/botol plastik bekas
- Tutup botol/CD bekas (untuk roda)
- Tusuk sate (poros roda)
- Kertas karton/plastik (layar)
- Lem tembak/lakban, gunting/cutter
- Mistar/meteran, stopwatch atau aplikasi smartphone
- Kipas angin

H. Keselamatan Kerja

- Gunakan gunting/cutter dengan hati-hati.
- Jauhkan kipas angin dari air dan kabel dari genangan.
- Bekerja sama dan bergantian saat menggunakan alat.

I. Langkah Eksperimen

(Ikuti langkah kerja pada bagian rancangan eksperimen — tandai lintasan, jalankan mobil, catat waktu pada tiap interval jarak, ulangi 3 kali.)

J. Tabel Data

Jarak (m)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	t rata-rata (s)	v = s/t (m/s)
0,5					
1,0					
1,5					
2,0					

K. Perhitungan Fisika

Tuliskan perhitungan kecepatan rata-rata keseluruhan menggunakan $v = s/t$: _____

L. Grafik

Gambarkan grafik hubungan jarak (s) terhadap waktu rata-rata (t) pada kotak berikut:

(ruang kosong)

M. Analisis

Apakah grafik yang kalian buat berbentuk garis lurus? Apa artinya bagi jenis gerak mobil kalian? _____

N. Desain Solusi

Buat sketsa rancangan awal mobil bertenaga angin kelompokmu (bentuk layar, posisi roda, ukuran) pada kotak berikut:

(ruang kosong)

O. Pembuatan Prototipe

Catat proses perakitan dan kendala yang dihadapi: _____

P. Pengujian Prototipe

Catat hasil uji coba awal (apakah mobil bergerak lurus, melenceng, atau berhenti di tengah jalan): _____

Q. Analisis Hasil Pengujian

Bandingkan hasil uji dengan hipotesis awal. Apakah sesuai dugaan? Mengapa? _____

R. Perbaikan Produk

Tuliskan perbaikan apa yang dilakukan dan alasannya: _____

S. Kesimpulan

Tuliskan kesimpulan kelompok mengenai jenis gerak dan kecepatan mobil rancangan kalian: _____

T. Refleksi

Apa yang paling menantang dari kegiatan ini? Apa yang kalian pelajari? _____

13. Asesmen

A. Asesmen Diagnostik (sebelum pembelajaran)

17. Apa yang kalian ketahui tentang gerak suatu benda?
18. Menurut kalian, apa bedanya benda bergerak cepat dan bergerak lambat?
19. Pernahkah kalian melihat benda yang bergerak dengan kecepatan tetap? Berikan contohnya.
20. Apa yang kalian ketahui tentang hubungan jarak, waktu, dan kecepatan?
21. Bagaimana cara mengetahui kecepatan suatu benda yang sedang bergerak?

B. Asesmen Formatif (selama proses pembelajaran)

Dinilai melalui observasi langsung selama kegiatan berlangsung, mencakup aspek:

- Keaktifan dalam diskusi kelompok
- Ketepatan dan ketelitian dalam eksperimen
- Ketepatan pengukuran jarak dan waktu
- Kemampuan menganalisis data dan grafik
- Kontribusi dalam diskusi kelompok
- Kerja sama dalam kelompok
- Keterlibatan dalam proses engineering (design–build–test–improve)

C. Asesmen Sumatif

Soal Pilihan Ganda (skor 10 per soal, total 50)

1. Sebuah benda dikatakan mengalami Gerak Lurus Beraturan (GLB) apabila ... A. kecepatannya berubah beraturan B. kecepatannya tetap dan lintasannya lurus C. percepatannya tetap dan tidak nol D. lintasannya melengkung E. jaraknya selalu bertambah tidak beraturan Kunci: B (skor 10) — Pembahasan: GLB dicirikan oleh kecepatan tetap (percepatan nol) pada lintasan lurus.
2. Grafik $s-t$ (jarak terhadap waktu) pada GLB berbentuk ... A. parabola B. garis lengkung naik C. garis lurus melalui titik asal D. garis lurus horizontal E. garis putus-putus Kunci: C (skor 10) — Pembahasan: pada GLB, s berbanding lurus dengan t sehingga grafiknya garis lurus melalui titik asal, dengan gradien sama dengan kecepatan.
3. Sebuah mobil bertenaga angin menempuh jarak 3 meter dalam waktu 6 sekon. Kecepatan rata-rata mobil tersebut adalah ... A. 0,5 m/s B. 1 m/s C. 2 m/s D. 3 m/s E. 18 m/s Kunci: A (skor 10) — Pembahasan: $v = s/t = 3 \text{ m} / 6 \text{ s} = 0,5 \text{ m/s}$.
4. Faktor yang paling memengaruhi apakah mobil bertenaga angin bergerak GLB atau tidak adalah ... A. warna mobil B. keseimbangan antara gaya dorong angin dan gaya gesek C. jumlah peserta didik dalam kelompok D. bentuk tulisan pada mobil E. lokasi sekolah Kunci: B (skor 10) — Pembahasan: GLB terjadi bila resultan gaya nol, yaitu gaya dorong angin seimbang dengan gaya gesek/hambatan.
5. Pada grafik $s-t$ suatu benda, semakin curam (tajam) kemiringan garis grafik, maka ... A. kecepatan benda semakin kecil B. kecepatan benda semakin besar C. benda dalam keadaan diam D. benda mengalami percepatan E. tidak dapat ditentukan Kunci: B (skor 10) — Pembahasan: gradien grafik $s-t$ menunjukkan besar kecepatan; makin curam garis, makin besar kecepatannya.

Soal Uraian (skor sesuai keterangan, total 50)

1. Jelaskan perbedaan antara Gerak Lurus Beraturan (GLB) dengan gerak yang bukan GLB! (skor 10) Kunci: GLB memiliki kecepatan tetap/konstan (percepatan nol) sepanjang lintasan lurus, sedangkan gerak bukan GLB memiliki kecepatan yang berubah (dipercepat/diperlambat).
2. Sebuah troli menempuh jarak 4 meter dalam 8 sekon dengan kecepatan tetap. Hitunglah kecepatan troli tersebut! (skor 10) Kunci: $v = s/t = 4/8 = 0,5 \text{ m/s}$.
3. Mengapa mobil bertenaga angin sulit bergerak dengan kecepatan yang benar-benar tetap sepanjang lintasan? Jelaskan berdasarkan konsep gaya! (skor 10, HOTS) Kunci: karena gaya dorong angin dapat berubah-ubah (tidak konstan) dan terdapat gaya gesek yang bervariasi antara roda dan permukaan lintasan, sehingga resultan gaya tidak selalu nol secara sempurna.

4. Perhatikan data hasil uji coba mobil kelompokmu (grafik $s-t$ hampir berupa garis lurus namun sedikit melengkung di awal). Analisislah kemungkinan penyebabnya dan berikan satu usulan perbaikan desain! (skor 10, HOTS) Kunci: kelengkungan di awal menunjukkan mobil masih mengalami percepatan sesaat setelah dilepas (belum mencapai kecepatan tetap); usulan perbaikan misalnya memperbesar ukuran layar agar dorongan awal lebih cepat stabil, atau mengurangi gesekan roda dengan pelumas/roda yang lebih licin.

5. Jika kelompok lain merancang mobil dengan layar dua kali lebih besar namun rodanya lebih berat, prediksikan dan jelaskan pengaruhnya terhadap kecepatan dan kestabilan gerak mobil tersebut! (skor 10, HOTS) Kunci: layar lebih besar meningkatkan gaya dorong angin sehingga berpotensi meningkatkan kecepatan, namun roda yang lebih berat meningkatkan gaya gesek dan kelembaman (inersia) sehingga dapat memperlambat pencapaian kecepatan tetap; kecepatan akhir bergantung pada keseimbangan kedua faktor tersebut.

14. Rubrik Penilaian STEM (Skala 1–4)

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
Pemahaman konsep Fisika	Belum memahami GLB	Memahami sebagian konsep GLB	Memahami konsep GLB dengan baik	Memahami dan mampu menjelaskan GLB secara mendalam
Eksperimen	Tidak melakukan eksperimen dengan benar	Eksperimen dilakukan namun kurang sistematis	Eksperimen dilakukan dengan sistematis	Eksperimen dilakukan sistematis, teliti, dan mandiri
Pengukuran	Sering salah mengukur	Pengukuran kurang teliti	Pengukuran cukup teliti	Pengukuran sangat teliti dan konsisten
Analisis data	Belum mampu menganalisis data	Analisis data kurang tepat	Analisis data tepat	Analisis data tepat dan mendalam disertai interpretasi grafik
Science	Tidak menerapkan konsep Fisika	Menerapkan konsep Fisika secara terbatas	Menerapkan konsep Fisika dengan tepat	Menerapkan konsep Fisika secara tepat dan kontekstual
Technology	Tidak memanfaatkan teknologi	Memanfaatkan teknologi secara terbatas	Memanfaatkan teknologi dengan tepat	Memanfaatkan teknologi secara optimal dan kreatif
Engineering	Rancangan tidak selesai	Rancangan selesai namun kurang fungsional	Rancangan selesai dan berfungsi	Rancangan selesai, berfungsi baik, dan telah melalui perbaikan
Mathematics	Tidak melakukan perhitungan	Perhitungan kurang tepat	Perhitungan tepat	Perhitungan tepat disertai grafik dan interpretasi yang baik
Kreativitas	Rancangan meniru sepenuhnya	Rancangan sedikit modifikasi	Rancangan cukup orisinal	Rancangan sangat orisinal dan inovatif
Pemecahan masalah	Tidak mampu mengatasi kendala	Mengatasi kendala dengan bantuan penuh	Mengatasi kendala dengan sedikit bantuan	Mengatasi kendala secara mandiri
Kolaborasi	Tidak bekerja sama	Bekerja sama namun tidak merata	Bekerja sama dengan baik	Bekerja sama secara aktif dan saling mendukung
Komunikasi	Tidak mampu menjelaskan hasil	Penjelasan kurang jelas	Penjelasan cukup jelas	Penjelasan jelas, sistematis, dan percaya diri

15. Asesmen Produk / Prototipe

No	Kriteria	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
1	Kesesuaian produk dengan masalah	Tidak sesuai	Kurang sesuai	Sesuai	Sangat sesuai dan tepat guna

No	Kriteria	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
2	Ketepatan konsep Fisika	Tidak menerapkan GLB	Menerapkan sebagian	Menerapkan dengan tepat	Menerapkan dengan tepat dan terukur
3	Fungsi produk	Tidak berfungsi	Berfungsi sebagian	Berfungsi baik	Berfungsi sangat baik dan stabil
4	Ketepatan pengukuran	Tidak ada pengukuran	Pengukuran tidak teliti	Pengukuran cukup teliti	Pengukuran sangat teliti
5	Efisiensi	Boros bahan/waktu	Kurang efisien	Cukup efisien	Sangat efisien
6	Kreativitas	Tidak ada inovasi	Inovasi minim	Cukup inovatif	Sangat inovatif
7	Keamanan	Tidak memperhatikan keamanan	Kurang memperhatikan	Cukup aman	Sangat aman digunakan
8	Kualitas rancangan	Rancangan asal jadi	Rancangan kurang rapi	Rancangan rapi	Rancangan rapi dan kokoh
9	Hasil pengujian	Tidak sesuai hipotesis	Sedikit sesuai	Sesuai hipotesis	Sangat sesuai hipotesis dengan data mendukung
10	Perbaikan produk	Tidak ada perbaikan	Perbaikan minim	Ada perbaikan berarti	Perbaikan signifikan dan berdasarkan data

16. Diferensiasi Pembelajaran

Diferensiasi Konten

Peserta didik berkemampuan rendah diberikan lembar bantu berisi rumus dan contoh perhitungan $v = s/t$; peserta didik berkemampuan sedang menggunakan LKPD standar; peserta didik berkemampuan tinggi diberikan tantangan tambahan menghitung dan membandingkan kecepatan pada beberapa interval jarak sekaligus.

Diferensiasi Proses

Kelompok dengan peserta didik berkemampuan rendah mendapat pendampingan lebih intensif dari guru saat eksperimen dan perakitan; kelompok berkemampuan tinggi diberi keleluasaan bereksplorasi mandiri dengan bimbingan minimal.

Diferensiasi Produk

Peserta didik dapat memilih bentuk pelaporan hasil: laporan tertulis sederhana, poster, atau presentasi lisan disertai demonstrasi mobil, sesuai minat dan kemampuan masing-masing.

17. Remedial

- Mengulang penjelasan konsep GLB dengan contoh sederhana dan visual (video/animasi).
- Berlatih kembali menggunakan persamaan $v = s/t$ dengan soal-soal bertahap dari mudah ke sulit.
- Berlatih membaca data pada tabel hasil pengukuran sederhana yang disediakan guru.
- Berlatih menghitung kecepatan dari data jarak dan waktu yang sudah tersedia.
- Berlatih menginterpretasi grafik $s-t$ sederhana dengan bimbingan guru secara individual/kelompok kecil.

18. Pengayaan

Bagi peserta didik yang telah mencapai tujuan pembelajaran, diberikan tantangan lanjutan berupa:

- Menghitung dan membandingkan efisiensi energi angin pada dua desain layar yang berbeda ukuran.
- Merancang modifikasi mobil bertenaga angin agar mampu menempuh jarak lebih jauh dengan kecepatan tetap.
- Menganalisis hubungan antara luas layar, gaya dorong angin, dan kecepatan mobil menggunakan data eksperimen tambahan.
- Mempelajari kasus gerak GLB pada konteks lain (misalnya gerak lift atau eskalator) dan membandingkannya dengan proyek mobil angin.

19. Refleksi

Refleksi Peserta Didik

22. Apa konsep Fisika yang saya pahami dari pembelajaran ini?
23. Apa hal yang paling menantang bagi saya?
24. Bagaimana saya menyelesaikan masalah yang saya temui?
25. Apa kesalahan yang saya temukan selama proses belajar?
26. Bagaimana saya memperbaiki rancangan mobil saya?
27. Apa hubungan pembelajaran ini dengan kehidupan sehari-hari saya?

Refleksi Guru

28. Apakah tujuan pembelajaran tercapai secara keseluruhan?
29. Bagian mana dari pembelajaran yang paling efektif dan mana yang perlu diperbaiki?
30. Bagaimana keterlibatan dan antusiasme peserta didik selama proyek berlangsung?
31. Apa penyesuaian yang perlu dilakukan pada alokasi waktu atau bahan ajar untuk pertemuan berikutnya?

20. Sumber Belajar dan Teknologi

Sumber belajar: buku teks Fisika kelas X, modul GLB, video pembelajaran gerak lurus, lingkungan sekolah sebagai sumber fenomena nyata.

Integrasi teknologi dan fungsinya dalam proses investigasi:

- Aplikasi stopwatch/slow-motion smartphone — digunakan untuk mengukur waktu tempuh mobil secara lebih presisi dibanding stopwatch manual.
- Spreadsheet (Google Sheets/Excel) — digunakan untuk mengolah data pengukuran menjadi tabel dan grafik $s-t$ secara otomatis.
- Kamera smartphone — digunakan untuk merekam uji coba mobil sehingga dapat dianalisis ulang (review) jika ada keraguan data.
- Kalkulator — digunakan untuk mempercepat perhitungan kecepatan rata-rata.
- Alat laboratorium (mistar, stopwatch, kipas angin) — digunakan langsung dalam proses eksperimen dan pengujian prototipe.

21. Produk Akhir

Pembelajaran ini menghasilkan:

- Prototipe mobil sederhana bertenaga angin
- Data hasil eksperimen dan grafik $s-t$ / $v-t$
- Laporan/LKPD hasil investigasi kelompok
- Presentasi hasil rancangan dan pengujian
- Solusi rekayasa sederhana terhadap masalah kendaraan ramah lingkungan tanpa bahan bakar fosil

Catatan

Bagian yang ditandai sebagai asumsi (semester, tahun pelajaran, jumlah peserta didik, rumusan CP) agar disesuaikan oleh guru dengan data dan dokumen kurikulum resmi yang berlaku di SMA Negeri 2 Pintu Rime Gayo. Alokasi waktu pada langkah pembelajaran dapat disesuaikan dengan kondisi kelas dan ketersediaan sarana (lapangan, kipas angin, bahan daur ulang).

MODUL AJAR FISIKA

Pendekatan STEM Berorientasi Pembelajaran Mendalam (Deep Learning)

Proyek: "Kipas Portable" – Energi Kinetik, Kecepatan, GLB, dan Listrik Dinamis

Kelas XI / Fase F – Semester Ganjil – Tahun Pelajaran 2026/2027

Disusun oleh: Kelompok 2

CATATAN PENYESUAIAN

Brief awal menyebut materi "Energi Kinetik" (8 JP), namun instruksi akhir meminta kelas XI Fase F, materi "Gaya dan Kesetimbangan" (6 JP) dengan proyek Kipas Portable berbasis Energi Kinetik, Kecepatan, GLB, dan Listrik Dinamis.

Karena proyek kipas portable secara konsep sesuai dengan Energi Kinetik, Kecepatan, GLB, dan Listrik Dinamis (bukan Gaya dan Kesetimbangan), modul ini disusun dengan keempat konsep tersebut sebagai materi inti. Guru dapat menyesuaikan kembali jika yang dimaksud memang "Gaya dan Kesetimbangan".

1. IDENTITAS PEMBELAJARAN

No	Komponen	Keterangan
1	Satuan Pendidikan	Kelompok 2
2	Mata Pelajaran	Fisika
3	Kelas / Fase	XI / F
4	Semester	Ganjil
5	Tahun Pelajaran	2026/2027
6	Materi	Energi Kinetik, Kecepatan, Gerak Lurus Beraturan (GLB), dan Listrik Dinamis (terintegrasi dalam proyek “Kipas Portable”)
7	Alokasi Waktu	6 JP (3 kali pertemuan $\times$ 2 JP; 1 JP = 45 menit)
8	Jumlah Peserta Didik	32 peserta didik
9	Model Pembelajaran	Project Based Learning (PjBL)
10	Pendekatan	STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)
11	Orientasi	Pembelajaran Mendalam (Deep Learning): Berkesadaran, Bermakna, Menggembirakan
12	Target Peserta Didik	Peserta didik reguler, tidak ada kesulitan belajar khusus; variasi kemampuan rendah-sedang-tinggi terakomodasi melalui diferensiasi

Kompetensi Awal

Peserta didik telah memahami konsep gerak, besaran pokok dan turunan, satuan SI, serta dasar listrik statis dari jenjang sebelumnya. Peserta didik sudah dapat melakukan pengukuran sederhana dengan alat ukur dasar (penggaris, stopwatch, multimeter sederhana).

Profil Lulusan yang Dituju

- Bernalar kritis – menganalisis hubungan energi kinetik, kecepatan, dan gerak benda secara logis berbasis data.
- Kreatif – merancang dan memodifikasi purwarupa kipas portable.
- Kolaboratif – bekerja dalam kelompok merancang, membangun, dan menguji produk.
- Mandiri – bertanggung jawab atas tugas individu dalam proyek kelompok.
- Kewargaan – memanfaatkan energi listrik secara efisien dan bertanggung jawab.

Sarana dan Prasarana

- Ruang kelas dan laboratorium IPA/Fisika sekolah
- Motor DC kecil (bekas mainan/kipas rusak), baterai/aki kecil 3–9V, saklar, kabel jumper, baling-baling plastik/kertas karton
- Multimeter, stopwatch/stopwatch smartphone, penggaris/meteran, anemometer sederhana (buatan sendiri atau kincir kertas)
- Laptop/proyektor, aplikasi PhET Simulation (“Energy Forms and Changes”, “Circuit Construction Kit”), spreadsheet (Excel/Google Sheets), kamera smartphone
- Alat tulis, LKPD cetak, alat keselamatan kerja (kacamata pelindung sederhana, sarung tangan jika diperlukan)

2. ANALISIS MATERI (ANALISIS AWAL)

Aspek	Analisis
Konsep Fisika utama	Energi kinetik ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$), kecepatan dan Gerak Lurus Beraturan ($v = s/t$), serta listrik dinamis (arus, tegangan, hambatan, daya listrik $P = VI$) yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak (energi kinetik) pada motor DC.
Fenomena nyata	Kipas angin, motor listrik pada kendaraan mainan, turbin angin, baling-baling drone — semua mengubah energi listrik menjadi energi gerak putar yang menghasilkan aliran udara.
Permasalahan kontekstual	Ruang kelas dan rumah warga di daerah dataran tinggi Gayo sering mengalami pemadaman listrik atau tidak memiliki akses stopkontak yang memadai saat cuaca panas, sehingga dibutuhkan kipas kecil bertenaga baterai yang hemat energi dan portabel.
Potensi eksperimen	Mengukur kecepatan putar baling-baling dan laju aliran udara pada berbagai tegangan baterai; mengukur arus dan tegangan rangkaian motor untuk menghitung daya listrik dan efisiensi energi.
Unsur Science	Konsep energi kinetik, hukum kekekalan energi, kecepatan sudut dan linier, listrik dinamis (Hukum Ohm, daya listrik).
Unsur Technology	Multimeter, aplikasi PhET Circuit Construction Kit, spreadsheet untuk mengolah data, kamera smartphone untuk merekam gerak baling-baling (analisis GLB).
Unsur Engineering	Proses merancang, merakit, menguji, dan menyempurnakan rangkaian serta struktur kipas portable (Engineering Design Process).
Unsur Mathematics	Perhitungan $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, $v = s/t$, $P = VI$, efisiensi energi (%), pembuatan grafik hubungan tegangan vs kecepatan putar.
Produk/prototipe yang dapat dibuat	Kipas portable bertenaga baterai dengan rangka sederhana (kardus/botol bekas/kayu ringan), dilengkapi saklar on-off.
Keterampilan abad ke-21	Berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, literasi digital, dan literasi data (4C + literasi).
Potensi HOTS	Menganalisis hubungan tegangan-kecepatan-energi kinetik; mengevaluasi efisiensi rancangan; mencipta solusi alternatif untuk masalah energi di lingkungan sekolah.

3. CAPAIAN DAN TUJUAN PEMBELAJARAN

A. Capaian Pembelajaran (Fase F – Kelas XI)

Pada akhir Fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep usaha, energi, dan listrik dinamis untuk menjelaskan fenomena alam dan menyelesaikan masalah dalam kehidupan sehari-hari; melakukan penyelidikan ilmiah (merencanakan, melaksanakan, menganalisis, dan mengomunikasikan) untuk menguji gagasan dan/atau menghasilkan karya melalui perancangan, pembuatan, dan pengujian model atau produk sederhana berbasis prinsip Fisika.

B. Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat memahami konsep energi kinetik, kecepatan, GLB, dan listrik dinamis melalui diskusi dan pengamatan fenomena kipas listrik.
2. Peserta didik dapat mengidentifikasi fenomena perubahan energi listrik menjadi energi kinetik pada peralatan di sekitar..
3. Peserta didik dapat menganalisis data hasil pengukuran menggunakan grafik dan perhitungan matematis.
4. Peserta didik dapat menggunakan persamaan $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, dan $v = s/t$ untuk memecahkan masalah kontekstual.
5. Peserta didik dapat merancang solusi rangkaian dan struktur kipas portable sesuai prinsip Fisika dan keterbatasan alat/bahan.
6. Peserta didik dapat membuat dan menguji prototipe kipas portable serta memperbaikinya berdasarkan hasil pengujian.
7. Peserta didik dapat mengomunikasikan hasil rancangan, data, dan kesimpulan secara lisan maupun tertulis.
8. Peserta didik dapat melakukan refleksi terhadap proses belajar dan pemecahan masalah yang telah dilakukan.

C. Indikator Ketercapaian

- Menjelaskan pengertian dan rumus energi kinetik, kecepatan, dan GLB dengan benar.
- Menghitung kecepatan putar/linier baling-baling dan energi kinetiknya dari data pengukuran.
- Membuat grafik hubungan tegangan terhadap kecepatan putar baling-baling.
- Merancang sketsa/desain kipas portable lengkap dengan spesifikasi alat dan bahan.
- Merakit rangkaian dan struktur kipas portable yang berfungsi.
- Menguji dan mendata performa kipas (kecepatan, arus, daya) serta melakukan minimal satu perbaikan.
- Mempresentasikan hasil proyek dengan data dan penjelasan konsep Fisika yang tepat.

4. INTEGRASI PEMBELAJARAN MENDALAM (DEEP LEARNING)

Berkesadaran (Mindful)

Di awal setiap pertemuan, guru menyampaikan tujuan pembelajaran dan meminta peserta didik menuliskan target pribadi pada LKPD (misalnya “yang ingin saya pahami hari ini”). Peserta didik juga diminta memantau proses berpikirnya sendiri melalui jurnal singkat/refleksi di akhir setiap tahap PjBL, sehingga mereka sadar apa yang sudah dan belum dikuasai.

Bermakna (Meaningful)

Konsep energi kinetik, kecepatan, GLB, dan listrik dinamis dikaitkan langsung dengan masalah nyata di lingkungan peserta didik, yaitu keterbatasan akses kipas listrik saat pemadaman listrik di daerah Gayo. Peserta didik tidak sekadar menghafal rumus, tetapi menggunakan rumus tersebut untuk merancang solusi yang benar-benar dapat digunakan.

Menggembirakan (Joyful)

Pembelajaran dikemas dalam bentuk tantangan kelompok (challenge based) untuk merancang kipas portable dengan kompetisi ringan “kipas mana yang paling kencang dan paling efisien”, disertai eksperimen langsung, diskusi kelompok, dan sesi presentasi yang interaktif menggunakan produk nyata, bukan hanya lembar tugas.

5. PEMAHAMAN BERMAKNA

- Energi listrik dapat diubah menjadi energi kinetik yang dimanfaatkan dalam berbagai peralatan sehari-hari, seperti kipas angin.
- Kecepatan suatu benda dapat diukur dan dihitung menggunakan data jarak dan waktu, serta menentukan besarnya energi kinetik yang dimiliki benda.
- Rangkaian listrik dinamis yang efisien menghasilkan daya optimal dengan konsumsi energi yang minimal.
- Prinsip Fisika dapat digunakan untuk merancang solusi teknologi tepat guna yang menjawab kebutuhan nyata masyarakat, khususnya di daerah dengan keterbatasan listrik.
- Proses merancang, menguji, dan memperbaiki produk (engineering process) mencerminkan cara kerja ilmiah dalam menyelesaikan masalah.

6. PERTANYAAN PEMANTIK

1. Mengapa kipas angin bisa berputar kencang ketika dicolokkan ke listrik, tetapi berhenti ketika listrik padam?
2. Apa yang terjadi pada energi listrik ketika motor kipas dinyalakan? Ke mana energi tersebut “pergi”?
3. Jika baterai yang digunakan memiliki tegangan lebih besar, apa yang akan terjadi pada kecepatan putaran baling-baling? Mengapa demikian?
4. Bagaimana kita bisa membuat kipas kecil yang tetap bisa menyala meskipun listrik PLN padam?
5. Apakah kipas yang berputar paling cepat pasti merupakan kipas yang paling hemat energi? Bagaimana cara membuktikannya?

7. INTEGRASI STEM

Komponen STEM	Implementasi	Aktivitas Konkret
Science	Konsep energi kinetik, kecepatan, dan GLB	Peserta didik mengamati video/demonstrasi kipas, menjelaskan perubahan energi listrik menjadi energi kinetik, dan menghitung E_k serta v dari data hasil pengukuran.
Technology	Multimeter, PhET Circuit Construction Kit, spreadsheet, kamera smartphone (slow-motion untuk menghitung putaran)	Peserta didik menggunakan multimeter untuk mengukur arus dan tegangan; mensimulasikan rangkaian pada PhET sebelum merakit rangkaian nyata; mengolah data pada spreadsheet untuk membuat grafik.
Engineering	Perancangan, pembuatan, pengujian, dan perbaikan struktur serta rangkaian kipas portable	Peserta didik menggambar sketsa desain, memilih bahan (kardus/botol bekas), merakit rangkaian motor-baterai-saklar, menguji performa, lalu memperbaiki desain berdasarkan hasil uji.
Mathematics	Perhitungan $v = s/t$, $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, efisiensi energi, dan pembuatan grafik	Peserta didik menghitung kecepatan baling-baling dari video (jarak tempuh tanda pada baling-baling per satuan waktu), menghitung energi kinetik dan daya listrik, serta membuat grafik tegangan vs kecepatan.

8. SKENARIO MASALAH NYATA (DRIVING QUESTION)

Konteks Masalah

Daerah Timang Gajah sering mengalami pemadaman listrik bergilir, terutama pada siang hari yang panas. Beberapa keluarga dan ruang kelas tidak memiliki kipas angin cadangan yang dapat digunakan saat listrik PLN padam. Selain itu, kipas listrik konvensional berukuran besar tidak praktis dibawa atau digunakan di ruang belajar kecil/di luar kelas.

Rumusan Tantangan

“Bagaimana kelompok kalian dapat merancang dan membuat kipas portable bertenaga baterai yang mampu menghasilkan aliran udara yang cukup kencang, hemat energi, aman digunakan, dan menggunakan alat/bahan sederhana yang mudah diperoleh di sekitar sekolah?”

Kriteria dan Batasan Proyek

- Kipas harus dapat menyala menggunakan baterai/aki kecil (3–9V), bukan listrik PLN langsung.
- Kipas harus dilengkapi saklar on-off dan aman disentuh saat berputar.
- Biaya bahan maksimal sesuai kesepakatan kelas (menggunakan barang bekas/daur ulang sebisa mungkin).
- Waktu pengerjaan proyek mengikuti alokasi 6 JP (3 pertemuan).
- Kelompok harus menyajikan data pengukuran (arus, tegangan, kecepatan) sebagai bukti kinerja produk, bukan hanya produk jadi.

Masalah ini relevan dengan konsep Fisika (energi kinetik, kecepatan/GLB, listrik dinamis), dapat diselidiki melalui eksperimen pengukuran, memiliki banyak kemungkinan solusi desain, menghasilkan prototipe nyata, serta menggunakan alat dan bahan yang mudah didapat di sekolah/lingkungan sekitar.

9. LANGKAH PEMBELAJARAN

Total alokasi: 6 JP (3 pertemuan × 2 JP @45 menit). Struktur PjBL diintegrasikan dengan tahapan STEM Identify–Communicate.

Pertemuan 1 (2 JP) – Identify, Define, Explore

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM/Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Salam, doa, presensi; apersepsi dengan bertanya pengalaman peserta didik saat mati listrik; menampilkan video singkat kipas listrik vs kipas manual; menyampaikan tujuan pembelajaran dan tantangan proyek	Menjawab pertanyaan apersepsi, mengamati video, menuliskan target belajar pribadi (Berkesadaran)	Bermakna – mengaitkan dengan pengalaman nyata	15 menit
Identify	Membagi kelompok (4–5 orang), membagikan LKPD 1, memandu curah pendapat masalah pemadaman listrik	Berdiskusi mengidentifikasi fenomena dan masalah, mencatat pada LKPD	Science; Berkesadaran	15 menit
Define	Memfasilitasi perumusan masalah dan kriteria produk; menjelaskan driving question dan kriteria/batasan proyek	Merumuskan masalah, menentukan informasi yang diperlukan (tegangan, arus, kecepatan)	Engineering	20 menit
Explore (bagian 1)	Menjelaskan konsep dasar energi kinetik, kecepatan, GLB, dan listrik dinamis; mendemonstrasikan rangkaian motor DC-baterai sederhana	Mengamati demonstrasi, mencatat variabel yang memengaruhi kecepatan putaran	Science, Mathematics; Menggembirakan	25 menit
Explore (bagian 2) / Eksperimen awal	Membimbing kelompok melakukan eksperimen mengukur tegangan-arus pada beberapa variasi baterai menggunakan multimeter dan PhET	Melakukan pengukuran, mencatat data pada tabel pengamatan LKPD	Technology, Mathematics	15 menit
Penutup	Menyimpulkan bersama, memberi umpan balik, menugaskan kelompok membawa alat/bahan pertemuan berikutnya	Menyimpulkan hasil sementara, mengisi refleksi singkat	Berkesadaran	10 menit

Pertemuan 2 (2 JP) – Explain, Design, Create

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM/Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Salam, apersepsi mengulas hasil eksperimen pertemuan 1, menyampaikan tujuan pertemuan	Mengingat kembali data dan konsep, menyiapkan alat/bahan	Berkesadaran	10 menit

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM/Deep Learning	Waktu
Explain	Memandu presentasi singkat tiap kelompok mengenai hubungan tegangan-kecepatan-energi kinetik berdasarkan data pertemuan 1	Menjelaskan konsep Fisika berdasarkan data eksperimen menggunakan rumus $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ dan $v = s/t$	Science, Mathematics; Bermakna	20 menit
Design	Membimbing kelompok membuat sketsa desain kipas portable beserta daftar alat dan bahan	Merancang sketsa desain, menentukan bentuk baling-baling dan tata letak komponen	Engineering; Menggembirakan	25 menit
Create (bagian 1)	Mendampingi proses perakitan rangkaian motor-baterai-saklar	Merakit rangkaian listrik sesuai desain, memastikan sambungan aman	Engineering, Technology	25 menit
Create (bagian 2)	Mendampingi pemasangan baling-baling dan struktur/rangka kipas	Merakit struktur fisik kipas (rangka, dudukan, baling-baling)	Engineering	25 menit
Penutup	Memberi umpan balik proses, menugaskan kelompok menyelesaikan prototipe di luar jam jika perlu	Merapikan alat, mencatat kendala pada jurnal proses	Berkesadaran	5 menit

Pertemuan 3 (2 JP) – Test, Analyze, Improve, Communicate

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM/Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Salam, apersepsi, menyampaikan agenda uji coba dan presentasi	Menyiapkan prototipe dan alat ukur	Berkesadaran	10 menit
Test	Memandu prosedur pengujian standar (jarak, waktu, tegangan, arus) agar hasil antar kelompok dapat dibandingkan	Menguji kipas, mengukur kecepatan putar (dengan video/hitungan putaran), arus, dan tegangan; mencatat data	Science, Technology, Mathematics	25 menit
Analyze	Membimbing pengolahan data menjadi grafik dan perhitungan E_k , v , dan daya listrik; memandu diskusi efisiensi	Mengolah data pada spreadsheet/manual, membuat grafik tegangan vs kecepatan, menghitung E_k dan efisiensi	Mathematics; Bernalar kritis	25 menit
Improve	Memfasilitasi kelompok mengidentifikasi kelemahan produk dan melakukan satu perbaikan konkret	Memperbaiki desain (misalnya mengganti sudut baling-baling, memperkuat rangka, merapikan sambungan)	Engineering	15 menit
Communicate	Memandu sesi presentasi/pameran produk antar kelompok, memberi penilaian sumatif produk	Mempresentasikan produk, data, dan proses perancangan; menjawab pertanyaan dari kelompok	Komunikasi; Menggembirakan	20 menit

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM/Deep Learning	Waktu
		lain		
Penutup	Menyimpulkan pembelajaran, memberi umpan balik akhir, evaluasi (kuis singkat), menyampaikan tindak lanjut (remedial/pengayaan)	Menyimpulkan, mengerjakan evaluasi singkat, mengisi lembar refleksi akhir	Berkesadaran, Bermakna	15 menit

10. RANCANGAN EKSPERIMEN FISIKA

Judul: Studi Pengaruh Jarak terhadap Interaksi Energi Kinetik Aliran Udara dari Kipas Motor DC pada Sehelai Tisu

- Tujuan: Menyelidiki bagaimana perubahan jarak antara kipas motor DC dan sehelai tisu memengaruhi besarnya energi kinetik aliran udara atau respons simpangan yang dihasilkan.
- Rumusan Masalah: Bagaimana pengaruh jarak antara kipas motor DC dan sehelai tisu terhadap sudut simpangan atau respons energi kinetik aliran udara yang diterima oleh tisu tersebut?
- Hipotesis: Semakin dekat jarak tisu dengan kipas motor DC, semakin besar energi kinetik aliran udara yang diterima oleh tisu, sehingga sudut simpangan atau respons gerak tisu akan semakin besar. Sebaliknya, semakin jauh jaraknya, interaksi energi kinetiknya akan semakin melemah akibat hambatan udara dan penyebaran angin.

Variabel Eksperimen

- Variabel bebas: Jarak antara kipas motor DC dan sehelai tisu (misalnya: 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm)
- Variabel terikat: Sudut simpangan tisu (θ) atau respons waktu/kecepatan dorong tisu
- Variabel kontrol: Tegangan baterai (sumber tegangan dibuat konstan, misalnya menggunakan baterai 4,5V atau 6V yang stabil), jenis dan ukuran baling-baling, jenis motor DC, serta ukuran dan berat sehelai tisu.

Alat dan Bahan

- Motor DC kecil dan baling-baling (1 set)
- Baterai AA/AAA beserta dudukan dan saklar (sebagai sumber tegangan konstan)
- Sehelai tisu dengan ukuran tertentu (misalnya 5 cm x 5 cm) yang digantung pada seutas benang tipis
- Penggaris atau meteran (untuk mengukur jarak)
- Busur derajat (untuk mengukur sudut simpangan tisu)
- Stopwatch (atau aplikasi smartphone)
- Kabel penghubung (*jumper* dan saklar)
- Statif atau penjepit untuk menggantung tisu

Keselamatan Kerja

- Jauhkan tangan dan rambut dari baling-baling saat motor menyala.
- Pastikan sambungan kabel tidak mengalami korsleting sebelum menyalakan rangkaian.
- Gunakan tegangan baterai sesuai spesifikasi motor agar putaran stabil dan tidak cepat panas.
- Matikan rangkaian segera setelah pengambilan data jarak selesai.

Langkah Kerja

1. Rangkai motor DC dengan sumber baterai dan saklar, lalu pasang baling-baling. Pastikan tegangan baterai diukur dan dijaga konstan selama percobaan.
2. Gantung sehelai tisu pada seutas benang di depan kipas, pastikan posisi awal tisu tegak lurus (tanpa tiupan).
3. Letakkan penggaris lurus sejajar dengan arah angin dari kipas untuk mengukur jarak.
4. Atur jarak antara kipas dan tisu pada posisi pertama (misalnya 5 cm).
5. Nyalakan kipas menggunakan saklar. Amati dan ukur sudut simpangan (θ) yang terbentuk pada tisu menggunakan busur derajat, atau rekam menggunakan kamera untuk dianalisis lebih akurat.
6. Ulangi langkah 4–5 untuk variasi jarak berikutnya (10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm).
7. Catat seluruh data sudut simpangan atau respons tisu ke dalam tabel pengamatan untuk setiap variasi jarak.

Tabel Pengamatan

No	Jarak Kipas ke Objek (s dalam cm)	Waktu (t dalam sekon)	Kecepatan Aliran Udara / Linier (v dalam m/s)	Energi Kinetik (Ek dalam Joule)
1	5	...	...	...

2	10	...	...	...
3	15	...	...	...
4	20	...	...	...
5	25	...	...	...

Persamaan Fisika yang Digunakan

- **Kecepatan Aliran / Linier:**

$$V = \frac{s}{t}$$

(dengan s adalah jarak dan t adalah waktu tempuh/respons)

- **Energi Kinetik:**

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

(dengan m adalah massa objek/udara yang dikenai tiupan, dan v adalah kecepatan yang diperoleh dari hasil perhitungan s/t)

Pengolahan Data dan Grafik

1. Hitung nilai kecepatan (v) untuk setiap baris data menggunakan rumus $v = s/t$.
2. Hitung nilai energi kinetik (E_k) menggunakan massa objek/udara yang tetap dan nilai kecepatan (v) yang telah didapat.
3. Gunakan *spreadsheet* (Excel atau Google Sheets) untuk membuat dua grafik utama:
 - o **Grafik 1:** Hubungan antara Jarak (s sebagai sumbu-X) terhadap Kecepatan (v sebagai sumbu-Y).
 - o **Grafik 2:** Hubungan antara Jarak (s sebagai sumbu-X) terhadap Energi Kinetik (E_k sebagai sumbu-Y).
4. Amati bentuk kurva pada grafik untuk melihat bagaimana perubahan jarak memengaruhi penurunan kecepatan dan energi kinetik.

Analisis dan Kesimpulan

- **Analisis Data:** Peserta didik menganalisis tren pada kolom waktu (t), kecepatan (v), dan energi kinetik (E_k) terhadap pertambahan jarak (s). Umumnya, semakin jauh jarak kipas dari objek, waktu yang dibutuhkan akan bertambah, yang menyebabkan kecepatan aliran udara menurun, sehingga nilai energi kinetik (E_k) ikut mengecil secara kuadrat akibat pengaruh variabel kecepatan (v^2).
- **Kesimpulan:** Tarik kesimpulan apakah data pada tabel dan grafik membuktikan hipotesis awal mengenai hubungan jarak terhadap penurunan energi kinetik aliran udara.
- **Sumber Galat / Kesalahan:** Identifikasi faktor luar yang memengaruhi hasil, seperti adanya tiupan angin dari luar (udara sekitar), ketidaktepatan menekan *stopwatch* (waktu t), atau gesekan udara (*drag*).

11. ENGINEERING DESIGN PROCESS

Tahap	Aktivitas Peserta Didik
1. Identify the Problem	Mengidentifikasi kebutuhan kipas portable akibat pemadaman listrik dan keterbatasan alat pendingin sederhana.
2. Research	Mencari referensi rangkaian motor DC sederhana, jenis baling-baling yang efisien, melalui buku, internet, atau simulasi PhET.
3. Brainstorm	Mendiskusikan berbagai ide bentuk baling-baling, bahan rangka, dan sumber daya (jumlah baterai) yang mungkin digunakan.

Tahap	Aktivitas Peserta Didik
4. Design	Menentukan satu desain terbaik dan menggambarannya dalam sketsa lengkap dengan ukuran dan daftar komponen.
5. Build	Merakit rangkaian listrik dan struktur fisik kipas sesuai desain yang dipilih.
6. Test	Menguji kipas dan mengumpulkan data kecepatan, arus, dan tegangan menggunakan prosedur eksperimen yang telah ditentukan.
7. Evaluate	Membandingkan hasil pengujian dengan kriteria proyek (kecepatan angin, keamanan, efisiensi) dan hipotesis awal.
8. Improve	Melakukan minimal satu perbaikan desain berdasarkan hasil evaluasi (misalnya mengubah sudut baling-baling atau memperkuat rangka).
9. Communicate	Mempresentasikan produk akhir, proses perancangan, data, dan pembelajaran yang diperoleh kepada kelas.

12. LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD) BERBASIS STEM

LKPD berikut siap dibagikan/dicetak untuk peserta didik.

A. Identitas

Nama: _____ Kelas: _____ Kelompok: _____ Tanggal: _____

B. Judul Kegiatan

Merancang dan Menguji “Kipas Portable” Berbasis Energi Kinetik, Kecepatan, GLB, dan Listrik Dinamis

C. Tujuan

Peserta didik mampu merancang, membuat, menguji, dan menganalisis kinerja kipas portable bertenaga baterai berdasarkan konsep energi kinetik, kecepatan, dan listrik dinamis.

D. Fenomena/Masalah

Bacalah kembali skenario pemadaman listrik di daerah Pintu Rime Gayo pada bagian pendahuluan. Tuliskan pemahamanmu tentang masalah tersebut: _____

E. Pertanyaan Investigasi

1. Apa hubungan antara tegangan baterai dan kecepatan putar baling-baling?
2. Bagaimana cara menghitung energi kinetik baling-baling yang berputar?
3. Faktor apa saja yang memengaruhi efisiensi kipas portable?

F. Hipotesis

Tuliskan dugaan sementara: _____

G. Alat dan Bahan

Tuliskan daftar alat dan bahan yang digunakan kelompokmu: _____

H. Keselamatan Kerja

- Jauhkan tangan dari baling-baling yang berputar.
- Periksa sambungan kabel sebelum menyalakan rangkaian.
- Gunakan tegangan sesuai spesifikasi motor.

I. Langkah Eksperimen

Ikuti langkah eksperimen pada Bagian 10 Modul Ajar (rancangan eksperimen tegangan vs kecepatan).

J. Tabel Data

Tegangan (V)	Arus (A)	Jumlah Putaran/10s	Kecepatan (rps)	v (m/s)	Ek (J)

K. Perhitungan Fisika

Tunjukkan perhitungan $v = s/t$, $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, dan $P = VI$ untuk salah satu data di atas:

L. Grafik

Buat grafik tegangan (V) terhadap kecepatan (v) pada kotak berikut atau pada spreadsheet:

(ruang grafik)

M. Analisis

Jelaskan kecenderungan hubungan tegangan dan kecepatan berdasarkan grafik:

N. Desain Solusi (Sketsa Rancangan)

(ruang sketsa desain kipas portable)

O. Pembuatan Prototipe

Catat proses dan kendala saat merakit prototipe:

P. Pengujian Prototipe

Catat hasil uji (kecepatan angin dirasakan, kestabilan, arus, tegangan):

Q. Analisis Hasil Pengujian

Apakah produk memenuhi kriteria proyek? Jelaskan:

R. Perbaikan Produk

Tuliskan perbaikan yang dilakukan dan alasannya:

S. Kesimpulan

Tuliskan kesimpulan akhir kelompokmu: _____

T. Refleksi

Apa yang paling kamu pelajari dari kegiatan ini? _____

13. ASESMEN

A. Asesmen Diagnostik (Sebelum Pembelajaran)

1. Apa yang kamu ketahui tentang energi kinetik?
2. Bagaimana cara menghitung kecepatan suatu benda yang bergerak lurus?
3. Apa fungsi baterai dalam sebuah rangkaian listrik?
4. Pernahkah kamu melihat/menggunakan kipas angin bertenaga baterai? Bagaimana menurutmu cara kerjanya?
5. Apa yang kamu ketahui tentang hubungan antara tegangan listrik dan kecepatan putaran motor?

B. Asesmen Formatif

Dinilai selama proses pembelajaran melalui observasi guru terhadap:

- Keaktifan dalam diskusi dan tanya jawab
- Ketepatan dan ketelitian dalam melakukan eksperimen
- Ketepatan dalam melakukan pengukuran (tegangan, arus, waktu)
- Kemampuan menganalisis data (grafik dan perhitungan)
- Kualitas kontribusi dalam diskusi kelompok
- Kerja sama dan pembagian tugas dalam kelompok
- Keterlibatan dalam seluruh tahapan proses engineering (design, build, test, improve)

Instrumen: lembar observasi/ceklist dengan skala 1–4 (lihat rubrik STEM pada bagian 14).

C. Asesmen Sumatif

C.1 Soal Pilihan Ganda

No	Soal & Pilihan	Kunci	Skor
1	Sebuah baling-baling bermassa 0,02 kg berputar dengan kecepatan linier ujung 4 m/s. Besar energi kinetiknya adalah... A. 0,08 J B. 0,16 J C. 0,32 J D. 0,04 J E. 0,64 J	B. 0,16 J	
2	Sebuah benda bergerak lurus beraturan menempuh jarak 12 m dalam waktu 4 sekon. Kecepatan benda tersebut adalah... A. 2 m/s B. 3 m/s C. 4 m/s D. 6 m/s E. 48 m/s	B. 3 m/s	
3	Pada rangkaian listrik dinamis, jika tegangan sumber 6 V dan arus yang mengalir 0,5 A, daya listrik yang digunakan adalah... A. 3 W B. 6 W C. 12 W D. 0,5 W E. 1,5 W	A. 3 W	
4	Ketika tegangan baterai pada motor DC dinaikkan, yang terjadi pada kecepatan putar baling-baling umumnya adalah... A. Tetap B. Semakin lambat C. Semakin cepat D. Berhenti E. Tidak dapat ditentukan	C. Semakin cepat	
5	Manakah pernyataan yang paling tepat tentang efisiensi kipas portable? A. Kipas paling cepat pasti paling efisien B. Efisiensi hanya ditentukan oleh bentuk baling-baling C. Efisiensi mempertimbangkan energi kinetik yang dihasilkan dibanding energi listrik yang digunakan D. Efisiensi tidak dapat dihitung E. Efisiensi sama dengan kecepatan putar	C	

Pembahasan Pilihan Ganda

1. No.1: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,02)(4^2) = \frac{1}{2}(0,02)(16) = 0,16 \text{ J}$

2. No.2: $v = s/t = 12/4 = 3 \text{ m/s}$
3. No.3: $P = V \times I = 6 \times 0,5 = 3 \text{ W}$
4. No.4: Semakin besar tegangan, semakin besar arus dan daya yang diberikan ke motor sehingga kecepatan putar meningkat (sesuai data eksperimen).
5. No.5: Efisiensi membandingkan keluaran energi kinetik yang bermanfaat terhadap energi listrik yang digunakan, bukan sekadar kecepatan.

C.2 Soal Uraian

No	Soal	Skor
1	Sebuah kipas portable menggunakan baling-baling bermassa 0,015 kg dengan kecepatan linier ujung 5 m/s. Hitunglah energi kinetik baling-baling tersebut!	15
2	Jelaskan mengapa kecepatan putar baling-baling kipas portable dapat berubah ketika jumlah baterai yang dipakai ditambah!	20
3 (HOTS)	Dua kelompok membuat kipas portable dengan baling-baling berbeda: Kelompok A menghasilkan kecepatan putar tinggi tetapi menggunakan arus besar (boros baterai), sedangkan Kelompok B menghasilkan kecepatan sedang dengan arus kecil (hemat baterai). Menurutmu, kipas manakah yang lebih baik untuk digunakan di rumah saat pemadaman listrik? Jelaskan alasanmu dengan mempertimbangkan konsep energi dan kebutuhan nyata!	20
4 (HOTS)	Sebuah motor DC diberi tegangan 4,5 V dan menghasilkan arus 0,3 A. Jika 60% energi listrik yang digunakan berhasil diubah menjadi energi kinetik baling-baling dalam waktu 1 sekon, hitunglah besar energi kinetik yang dihasilkan!	20
5 (HOTS)	Berdasarkan grafik hubungan tegangan dan kecepatan hasil eksperimenmu, jika grafik menunjukkan hubungan yang tidak sepenuhnya linier pada tegangan tinggi, jelaskan kemungkinan penyebabnya secara ilmiah!	25

Pembahasan dan Kunci Jawaban Uraian

1. No.1: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,015)(25) = 0,1875 \text{ J}$
2. No.2: Menambah baterai (disusun seri) memperbesar tegangan sumber, sehingga arus yang mengalir ke motor meningkat, daya listrik ($P=VI$) yang diterima motor bertambah, dan energi tersebut diubah menjadi energi kinetik putaran yang lebih besar, sehingga kecepatan putar meningkat.
3. No.3 (HOTS): Jawaban terbuka dinilai dari kualitas alasan: peserta didik diharapkan mempertimbangkan trade-off antara kecepatan/kenyamanan dan efisiensi/ketahanan baterai, serta mengaitkannya dengan kebutuhan penggunaan jangka panjang saat pemadaman listrik (bukan sekadar memilih salah satu tanpa alasan).
4. No.4 (HOTS): Energi listrik = $P \times t = (V \times I) \times t = (4,5 \times 0,3) \times 1 = 1,35 \text{ J}$. $E_k = 60\% \times 1,35 \text{ J} = 0,81 \text{ J}$
5. No.5 (HOTS): Jawaban terbuka; kemungkinan penyebab: hambatan dalam motor yang menimbulkan panas (energi terbuang sebagai kalor), gesekan mekanis pada poros yang meningkat pada kecepatan tinggi, keterbatasan alat ukur, atau batas kemampuan motor (saturasi).

Total skor sumatif: 100 (Pilihan Ganda $5 \times 20 = 100$ digabung proporsional dengan Uraian, atau digunakan terpisah sesuai kebijakan guru: PG 50% + Uraian 50%).

14. RUBRIK PENILAIAN STEM

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
Pemahaman konsep Fisika	Tidak dapat menjelaskan konsep	Menjelaskan konsep dengan bantuan	Menjelaskan konsep dengan benar secara mandiri	Menjelaskan dan mengaitkan konsep dengan konteks nyata secara mendalam
Eksperimen	Tidak melakukan eksperimen sesuai prosedur	Melakukan eksperimen dengan banyak bimbingan	Melakukan eksperimen sesuai prosedur dengan sedikit bimbingan	Melakukan eksperimen secara mandiri, sistematis, dan teliti
Pengukuran	Hasil pengukuran tidak akurat/tidak dilakukan	Pengukuran dilakukan namun kurang akurat	Pengukuran akurat dengan alat yang tepat	Pengukuran akurat, teliti, disertai pengulangan untuk validasi
Analisis data	Tidak menganalisis data	Analisis data sederhana, kurang tepat	Analisis data tepat menggunakan rumus yang sesuai	Analisis data mendalam disertai grafik dan interpretasi kritis
Science	Tidak memahami keterkaitan sains	Memahami sebagian konsep sains	Memahami dan menerapkan konsep sains dengan tepat	Menerapkan dan mengembangkan konsep sains secara kreatif
Technology	Tidak menggunakan teknologi bantu	Menggunakan teknologi dengan bimbingan penuh	Menggunakan teknologi (multimeter/PhET/spreadsheet) secara tepat	Menggunakan teknologi secara mandiri dan optimal untuk investigasi
Engineering	Tidak mengikuti proses rekayasa	Mengikuti sebagian tahapan rekayasa	Mengikuti seluruh tahapan rekayasa dengan baik	Mengikuti seluruh tahapan rekayasa secara sistematis dan inovatif
Mathematics	Tidak dapat melakukan perhitungan	Perhitungan dilakukan namun banyak kesalahan	Perhitungan tepat menggunakan rumus yang sesuai	Perhitungan tepat, disajikan dengan grafik/tabel yang jelas
Kreativitas	Desain meniru sepenuhnya tanpa modifikasi	Desain dengan sedikit modifikasi	Desain menunjukkan ide orisinal	Desain sangat kreatif dan inovatif, berbeda dari kelompok lain
Pemecahan masalah	Tidak mampu mengatasi kendala	Mengatasi kendala dengan bantuan penuh	Mengatasi kendala secara mandiri	Mengatasi kendala secara mandiri dan sistematis dengan solusi tepat
Kolaborasi	Tidak	Berkontribusi	Berkontribusi aktif sesuai peran	Berkontribusi

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
	berkontribusi dalam kelompok	minim		aktif dan membantu anggota lain
Komunikasi	Tidak mampu menyampaikan hasil	Menyampaikan hasil kurang jelas	Menyampaikan hasil dengan jelas dan runtut	Menyampaikan hasil dengan jelas, runtut, dan meyakinkan disertai data

15. ASESMEN PRODUK/PROTOTIPE KIPAS PORTABLE

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
Kesesuaian produk dengan masalah	Produk tidak menjawab masalah pemadaman listrik/kipas portable	Sebagian kecil sesuai	Sebagian besar sesuai	Sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan dan kriteria proyek
Ketepatan konsep Fisika	Konsep energi kinetik/listrik dinamis tidak diterapkan	Diterapkan namun banyak kesalahan	Diterapkan dengan benar	Diterapkan dengan benar dan dijelaskan secara mendalam
Fungsi produk	Tidak berfungsi	Berfungsi sebagian/tidak stabil	Berfungsi dengan baik	Berfungsi optimal dan stabil
Ketepatan pengukuran	Data pengukuran tidak ada/tidak valid	Data ada namun kurang akurat	Data akurat	Data akurat dan diverifikasi dengan pengulangan
Efisiensi	Boros energi tanpa pertimbangan	Sedikit mempertimbangkan efisiensi	Cukup efisien	Sangat efisien dengan perhitungan pendukung
Kreativitas	Tidak ada unsur kreatif	Modifikasi minor	Ide cukup orisinal	Sangat orisinal dan inovatif
Keamanan	Tidak aman digunakan	Kurang aman, perlu banyak perbaikan	Cukup aman	Sangat aman digunakan
Kualitas rancangan	Rancangan asal-asalan	Rancangan sederhana	Rancangan rapi dan terstruktur	Rancangan rapi, terstruktur, dan estetik
Hasil pengujian	Tidak diuji	Diuji namun tidak dianalisis	Diuji dan dianalisis dengan benar	Diuji, dianalisis, dan didokumentasikan dengan baik
Perbaikan produk	Tidak ada perbaikan	Perbaikan tanpa dasar data/analisis	Perbaikan berdasarkan hasil uji	Perbaikan berdasarkan analisis mendalam dan terbukti efektif

16. DIFERENSIASI PEMBELAJARAN

Jenis Diferensiasi	Kemampuan Rendah	Kemampuan Sedang	Kemampuan Tinggi
Konten	Diberikan penjelasan konsep dengan analogi sederhana dan panduan rumus bertahap (scaffolding)	Diberikan penjelasan konsep standar sesuai modul	Diberikan tambahan materi tentang efisiensi energi dan variasi desain motor
Proses	Bekerja dengan pendampingan lebih intensif dari guru/teman sebaya; langkah eksperimen dipandu detail	Bekerja mandiri dengan sesekali bimbingan guru	Diberi kebebasan bereksplorasi merancang variasi desain dan menguji hipotesis tambahan
Produk	Cukup membuat 1 desain kipas portable sederhana dengan data pengukuran dasar	Membuat kipas portable lengkap dengan analisis grafik	Membuat kipas portable dengan analisis efisiensi energi dan perbandingan beberapa desain

17. REMEDIAL

- Pemahaman konsep: mengulang penjelasan energi kinetik dan listrik dinamis menggunakan simulasi PhET secara individu/kelompok kecil.
- Penggunaan persamaan: latihan soal terbimbing menghitung $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, $v = s/t$, dan $P = VI$ dengan data sederhana.
- Membaca data: berlatih membaca tabel data hasil eksperimen kelompok lain dan menjelaskan maknanya.
- Melakukan perhitungan: latihan perhitungan bertahap dengan kalkulator dan pendampingan guru/tutor sebaya.
- Interpretasi grafik: berlatih membaca grafik sederhana (menentukan kenaikan/penurunan, titik tertinggi) menggunakan data hasil eksperimen kelas.

18. PENGAYAAN

Tantangan lanjutan bagi peserta didik yang telah mencapai tujuan pembelajaran:

- Merancang kipas portable dengan sumber energi alternatif (misalnya panel surya kecil) dan membandingkan efisiensinya dengan versi baterai.
- Menghitung dan membandingkan efisiensi energi antar-desain baling-baling (jumlah bilah, sudut kemiringan) secara kuantitatif.
- Menganalisis hubungan antara hambatan dalam motor terhadap penyimpangan grafik tegangan-kecepatan dari hubungan linier ideal.
- Merancang sistem otomatis sederhana (misalnya sensor suhu/LDR) yang menyalakan kipas secara otomatis.

19. REFLEKSI

Refleksi Peserta Didik

1. Apa konsep Fisika yang saya pahami dari kegiatan ini?
2. Apa hal yang paling menantang selama merancang dan membuat kipas portable?
3. Bagaimana saya menyelesaikan masalah/kendala yang muncul?
4. Apa kesalahan yang saya temukan selama eksperimen atau perancangan?
5. Bagaimana saya memperbaiki rancangan berdasarkan hasil pengujian?
6. Apa hubungan pembelajaran ini dengan kehidupan sehari-hari di sekitar saya?

Refleksi Guru

- Apakah tujuan pembelajaran tercapai secara keseluruhan? Bagian mana yang perlu diperbaiki?
- Apakah alokasi waktu 6 JP cukup untuk keseluruhan tahapan PjBL? Tahap mana yang paling memakan waktu?
- Apakah alat dan bahan yang digunakan mudah diperoleh dan aman untuk peserta didik?
- Bagaimana efektivitas pendekatan STEM dan strategi diferensiasi yang diterapkan?
- Apa yang perlu disesuaikan untuk pelaksanaan pada kelas/tahun ajaran berikutnya?

20. SUMBER BELAJAR DAN TEKNOLOGI

Sumber/Teknologi	Fungsi dalam Pembelajaran
Buku Fisika kelas XI (Kurikulum Merdeka)	Referensi konsep energi kinetik, GLB, dan listrik dinamis
PhET Simulation – Circuit Construction Kit	Mensimulasikan rangkaian listrik dinamis sebelum merakit rangkaian nyata, sehingga peserta didik memahami arus dan tegangan secara visual
PhET Simulation – Energy Forms and Changes	Memvisualisasikan perubahan energi listrik menjadi energi kinetik
Spreadsheet (Excel/Google Sheets)	Mengolah data hasil eksperimen dan membuat grafik hubungan tegangan-kecepatan secara otomatis dan akurat
Multimeter	Mengukur arus dan tegangan secara langsung pada rangkaian kipas portable
Kamera/stopwatch smartphone	Merekam dan menghitung kecepatan putar baling-baling secara presisi (analisis GLB)
Video pembelajaran (YouTube edukasi Fisika)	Memberi gambaran fenomena nyata perubahan energi listrik menjadi energi kinetik sebagai apersepsi

21. PRODUK AKHIR

- Prototipe kipas portable bertenaga baterai yang berfungsi
- Data hasil eksperimen (tabel dan grafik tegangan vs kecepatan/energi kinetik)
- Laporan hasil proyek (LKPD terisi lengkap)
- Presentasi hasil rancangan dan pengujian di depan kelas

LAMPIRAN

- Lampiran 1: Format LKPD (lihat Bagian 12)
- Lampiran 2: Instrumen observasi formatif (ceklist skala 1–4)
- Lampiran 3: Soal asesmen sumatif dan kunci jawaban (lihat Bagian 13)
- Lampiran 4: Rubrik STEM dan rubrik produk (lihat Bagian 14–15)
- Lampiran 5: Lembar refleksi peserta didik dan guru (lihat Bagian 19)

Modul Ajar Fisika STEM

<https://gemini.google.com/app/56a7b36d80846e6c>

User prompt: Anda adalah seorang guru Fisika SMA sekaligus ahli pengembangan perangkat pembelajaran Kurikulum Merdeka. Buatlah RPP/Modul Ajar Fisika yang lengkap, kontekstual, dan siap digunakan di kelas dengan menggunakan pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) serta berorientasi pada pembelajaran mendalam (Deep Learning). DATA PEMBELAJARAN Gunakan data berikut: Satuan Pendidikan: SMA Terpadu Darussaadah Mata Pelajaran: Fisika Kelas/Fase: [XI/FASE] Semester: [GANJIL] Tahun Pelajaran: [2026/2027] Materi: [Keseimbangan benda tegar] Alokasi Waktu: [5] Jumlah Peserta Didik: [4] Model Pembelajaran: [PROBLEM SOLVING] Pendekatan: STEM Orientasi: Pembelajaran Mendalam (Deep Learning) Jika data belum diberikan, gunakan asumsi yang wajar dan tandai bagian yang perlu disesuaikan.

- ANALISIS AWAL** Sebelum membuat RPP/Modul Ajar, lakukan analisis terlebih dahulu terhadap materi Fisika yang dipilih. Tampilkan: Aspek Analisis Konsep Fisika utama ... Fenomena nyata ... Permasalahan kontekstual ... Potensi eksperimen ... Unsur Science ... Unsur Technology ... Unsur Engineering ... Unsur Mathematics ... Produk/prototipe yang dapat dibuat ... Keterampilan abad ke-21 ... Potensi HOTS ... Pastikan aktivitas STEM benar-benar terintegrasi dengan konsep Fisika dan bukan sekadar mencantumkan istilah STEM.
- IDENTITAS PEMBELAJARAN** Buat identitas lengkap: Satuan Pendidikan Mata Pelajaran Kelas/Fase Semester Tahun Pelajaran Materi Alokasi waktu Model pembelajaran Pendekatan pembelajaran Target peserta didik
- CAPAIAN DAN TUJUAN PEMBELAJARAN** Susun: A. Capaian Pembelajaran Tuliskan CP Fisika sesuai fase yang relevan. B. Tujuan Pembelajaran Buat tujuan pembelajaran menggunakan kata kerja operasional yang terukur. Tujuan harus mencakup: memahami konsep; mengidentifikasi fenomena; melakukan pengukuran/eksperimen; menganalisis data; menggunakan persamaan Fisika; merancang solusi; membuat atau menguji produk; mengomunikasikan hasil; melakukan refleksi. C. Indikator Ketercapaian Buat indikator yang dapat diamati dan diukur.
- PEMBELAJARAN MENDALAM** Integrasikan prinsip pembelajaran mendalam melalui: Berkesadaran Peserta didik memahami tujuan belajar dan menyadari proses belajarnya. Bermakna Konsep Fisika dikaitkan dengan kehidupan sehari-hari dan lingkungan sekitar. Mengembangkan Pembelajaran dilakukan melalui eksperimen, diskusi, tantangan, kolaborasi, dan pembuatan produk. Jelaskan secara konkret bagaimana ketiganya diterapkan dalam pembelajaran.
- PEMAHAMAN BERMAKNA** Buat 3–5 pemahaman bermakna yang menghubungkan konsep Fisika dengan kehidupan nyata.
- PERTANYAAN PEMANTIK** Buat 3–5 pertanyaan pemantik yang: kontekstual; menimbulkan rasa ingin tahu; tidak dapat dijawab hanya dengan menghafal; mendorong peserta didik melakukan penyelidikan.
- INTEGRASI STEM** Buat tabel berikut:

Komponen STEM	Implementasi pada Pembelajaran Fisika
Science	Konsep dan prinsip Fisika yang dipelajari
Technology	Teknologi/aplikasi/peralatan yang digunakan
Engineering	Rancangan, pembuatan, pengujian, dan perbaikan solusi
Mathematics	Pengukuran, perhitungan, persamaan, grafik, dan analisis data

 Berikan aktivitas konkret pada setiap komponen.
- SKENARIO MASALAH NYATA** Buat satu permasalahan nyata yang dekat dengan kehidupan peserta didik di lingkungan sekolah atau masyarakat sekitar. Permasalahan harus: berkaitan langsung dengan konsep Fisika; dapat diselidiki melalui eksperimen; memiliki lebih dari satu kemungkinan solusi; dapat menghasilkan produk/model/prototipe sederhana; menggunakan alat dan bahan yang mudah diperoleh. Contoh bentuk masalah: bagaimana merancang alat sederhana untuk mengukur suatu besaran; bagaimana membuat kendaraan sederhana yang bergerak efisien; bagaimana mengurangi penggunaan energi listrik; bagaimana merancang sistem sederhana berdasarkan konsep tekanan; bagaimana membuat alat pendeteksi atau indikator sederhana; bagaimana merancang solusi berdasarkan konsep kalor, listrik, gelombang, atau mekanika. Jangan menggunakan proyek yang terlalu mahal atau sulit dilaksanakan di SMA.
- LANGKAH PEMBELAJARAN** Buat langkah pembelajaran secara sangat rinci dalam tabel:

Tahap	Aktivitas	Peserta Didik	STEM Deep Learning Waktu
A	Pendahuluan Salam dan pembukaan		
B	Apersepsi Menghubungkan materi dengan pengalaman sehari-hari Menampilkan fenomena/video/gambar		
C	Pertanyaan pemantik Menyampaikan tujuan pembelajaran Menjelaskan tantangan STEM		
D	Kegiatan Inti		
1	Identify	Peserta didik mengidentifikasi fenomena dan masalah.	
2	Define	Peserta didik merumuskan masalah dan menentukan informasi yang diperlukan.	
3	Explore	Peserta didik melakukan pengamatan, eksperimen, pengukuran, atau mencari informasi.	
4	Explain	Peserta didik menjelaskan konsep Fisika berdasarkan hasil pengamatan.	
5	Design	Peserta didik merancang solusi/prototipe.	
6	Create	Peserta didik membuat produk/model sederhana.	
7	Test	Peserta didik menguji produk menggunakan data pengukuran.	
8	Analyze	Peserta didik menganalisis data menggunakan konsep dan persamaan Fisika.	
9	Improve	Peserta didik memperbaiki rancangan berdasarkan hasil pengujian.	
10	Communicate	Peserta didik mempresentasikan hasil dan mempertahankan alasan ilmiahnya.	
E	Penutup		
F	Kesimpulan Refleksi Umpan balik Evaluasi Tindak lanjut		
- EKSPERIMEN FISIKA** Buat rancangan eksperimen yang lengkap: Tujuan Rumusan masalah Hipotesis Variabel bebas Variabel terikat Variabel kontrol Alat dan bahan Keselamatan kerja Langkah kerja Data yang harus dikumpulkan Tabel pengamatan Pengolahan

data Grafik Persamaan Fisika Analisis Kesimpulan Gunakan alat dan bahan sederhana yang realistis tersedia di laboratorium atau lingkungan sekolah. 11. **ENGINEERING DESIGN PROCESS** Buat proses rekayasa: Identify the Problem Research Brainstorm Design Build Test Evaluate Improve Communicate Untuk setiap tahap, jelaskan aktivitas peserta didik. 12. **LKPD FISIKA BERBASIS STEM** Buat LKPD lengkap yang langsung dapat dibagikan kepada peserta didik. LKPD harus berisi: A. Identitas Nama: Kelas: Kelompok: Tanggal: B. Judul kegiatan C. Tujuan D. Fenomena/Masalah E. Pertanyaan investigasi F. Hipotesis G. Alat dan bahan H. Keselamatan kerja I. Langkah eksperimen J. Tabel data K. Perhitungan Fisika L. Grafik M. Analisis N. Desain solusi Sediakan ruang untuk membuat sketsa rancangan. O. Pembuatan prototipe P. Pengujian prototipe Q. Analisis hasil pengujian R. Perbaikan produk S. Kesimpulan T. Refleksi 13. **ASESMEN** Buat tiga jenis asesmen. A. Asesmen Diagnostik Buat 5 pertanyaan untuk mengetahui pemahaman awal. B. Asesmen Formatif Nilai: keaktifan; eksperimen; pengukuran; analisis data; diskusi; kerja kelompok; proses engineering. C. Asesmen Sumatif Buat: 5 soal pilihan ganda; 5 soal uraian; minimal 3 soal HOTS; soal berbasis fenomena; soal yang membutuhkan analisis matematis. Sertakan: kunci jawaban; pembahasan; skor masing-masing soal. 14. **RUBRIK PENILAIAN STEM** Buat rubrik skala 1–4 untuk: Aspek Skor 1 Skor 2 Skor 3 Skor 4 Pemahaman konsep Fisika Eksperimen Pengukuran Analisis data Science Technology Engineering Mathematics Kreativitas Pemecahan masalah Kolaborasi Komunikasi 15. **ASESMEN PRODUK/PROTOTIPE** Buat rubrik khusus untuk menilai: Kesesuaian produk dengan masalah Ketepatan konsep Fisika Fungsi produk Ketepatan pengukuran Efisiensi Kreativitas Keamanan Kualitas rancangan Hasil pengujian Perbaikan produk 16. **DIFERENSIASI** Buat strategi: diferensiasi konten; diferensiasi proses; diferensiasi produk. Sesuaikan untuk peserta didik dengan kemampuan rendah, sedang, dan tinggi. 17. **REMEDIAL** Buat kegiatan remedial yang berfokus pada: pemahaman konsep; penggunaan persamaan; membaca data; melakukan perhitungan; interpretasi grafik. 18. **PENGAYAAN** Buat tantangan lanjutan bagi peserta didik yang sudah mencapai tujuan pembelajaran. Pengayaan harus berupa masalah Fisika yang lebih kompleks atau pengembangan produk. 19. **REFLEKSI** Buat format refleksi peserta didik: Apa konsep Fisika yang saya pahami? Apa hal yang paling menantang? Bagaimana saya menyelesaikan masalah? Apa kesalahan yang saya temukan? Bagaimana saya memperbaiki rancangan? Apa hubungan pembelajaran ini dengan kehidupan sehari-hari? Buat juga refleksi guru. 20. **SUMBER BELAJAR DAN TEKNOLOGI** Gunakan sumber belajar yang relevan. Jika sesuai, integrasikan: PhET Simulation; Canva; GeoGebra; spreadsheet/Excel; sensor smartphone; video pembelajaran; kamera smartphone; kalkulator; alat laboratorium. Jangan menggunakan teknologi hanya sebagai hiasan. Jelaskan fungsi teknologi tersebut dalam proses investigasi atau penyelesaian masalah. 21. **PRODUK AKHIR** Pastikan pembelajaran menghasilkan salah satu atau lebih: model; prototipe; alat sederhana; desain; hasil eksperimen; laporan penelitian sederhana; poster ilmiah; presentasi; solusi terhadap masalah nyata. 22. **FORMAT AKHIR** Susun dokumen dengan urutan: Identitas Analisis materi CP TP Indikator Kompetensi awal Profil lulusan Sarana dan prasarana Model dan metode Pendekatan STEM Pembelajaran Mendalam Pemahaman bermakna Pertanyaan pemantik Masalah kontekstual Integrasi STEM Langkah pembelajaran Eksperimen Engineering Design Process LKPD Asesmen diagnostik Asesmen formatif Asesmen sumatif Kunci jawaban dan pembahasan Rubrik STEM Rubrik produk/prototipe Diferensiasi Remedial Pengayaan Refleksi Sumber belajar Lampiran Gunakan bahasa Indonesia formal, jelas, dan mudah diterapkan oleh guru. Jangan membuat kegiatan yang terlalu ideal atau sulit dilaksanakan. Sesuaikan dengan kondisi nyata SMA Negeri 2 Pintu Rime Gayo dan gunakan alat/bahan yang mudah diperoleh. **PENTING:** Jangan hanya menuliskan teori STEM. Setiap unsur STEM harus terlihat dalam aktivitas peserta didik. Setiap konsep Fisika harus dikaitkan dengan fenomena nyata. Peserta didik harus melakukan pengamatan, pengukuran, analisis, perancangan, pengujian, dan perbaikan. Sertakan perhitungan Fisika yang relevan. Sertakan data dan grafik jika sesuai. Gunakan pendekatan HOTS. Utamakan pembelajaran aktif dan berpusat pada peserta didik. Pastikan seluruh aktivitas dapat dilaksanakan dalam alokasi waktu yang tersedia. Buat dokumen yang siap dipindahkan ke Microsoft Word. “Buatkan untuk kelas XI Fase F materi gaya dan kesetimbangan, alokasi waktu 6 JP, dengan proyek merancang “Membuat Jembatan Mini Tahan Beban” menggunakan prinsip gaya dan kesetimbangan, Gaya tarik dan gaya tekan, Momen gaya, Tegangan–regangan/elastisitas, Rekayasa struktur jembatan.”

Response: MODUL AJAR / RPP FISIKA BERBASIS STEM & DEEP LEARNING

Materi: Kesetimbangan Benda Tegar dan Dinamika Rotasi

1. IDENTITAS PEMBELAJARAN

- **Satuan Pendidikan:** SMA Terpadu Darussaadah
- **Mata Pelajaran:** Fisika
- **Kelas / Fase:** XI / Fase F
- **Semester:** Ganjil
- **Tahun Pelajaran:** 2026/2027
- **Materi Pokok:** Kesetimbangan Benda Tegar dan Dinamika Rotasi (Sub-materi: Syarat Kesetimbangan, Torsi/Momen Gaya, Titik Berat, dan Struktur Jembatan Sederhana)
- **Alokasi Waktu:** 6 Jam Pelajaran (JP) / 2 Pertemuan (3 × 45 menit per pertemuan)
- **Model Pembelajaran:** *Problem Solving* (Pemecahan Masalah)
- **Pendekatan:** STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*)
- **Orientasi:** Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*: Berkesadaran, Bermakna, Menggembirakan)
- **Target Peserta Didik:** Peserta didik reguler/tipikal (Jumlah: 4 peserta didik, sangat ideal untuk kerja kelompok kecil/kolaboratif)

2. ANALISIS MATERI

Aspek	Analisis
Konsep Fisika utama	Torsi ($\tau = r \times F$), Syarat Kesetimbangan Benda Tegar ($\Sigma F = 0$ dan $\Sigma \tau = 0$), Titik Berat, Gaya Tarik & Gaya Tekan pada Struktur, serta Konsep Elastisitas (Tegangan-Regangan).
Fenomena nyata	Jembatan penyeberangan orang atau jembatan desa yang melengkung/patah akibat beban berlebih atau distribusi beban yang tidak merata.
Permasalahan kontekstual	Bagaimana merancang miniatur jembatan penyeberangan yang kokoh, efisien bahan, dan mampu menahan beban tertentu di tengah bentang jembatan menggunakan bahan sederhana?
Potensi eksperimen	Pengukuran besar momen gaya pada papan tuas, penentuan titik berat benda bentuk tak beraturan, dan uji beban maksimum pada miniatur jembatan stik es krim.
Unsur Science	Mempelajari hukum kesetimbangan mekanik, pengaruh lengan gaya terhadap besarnya torsi, serta distribusi gaya tarik dan gaya tekan pada elemen struktur jembatan.
Unsur Technology	Menggunakan kalkulator/spreadsheet untuk mengolah data uji beban, serta memanfaatkan kamera/stopwatch smartphone untuk mendokumentasikan deformasi struktur jembatan saat diberi beban.
Engineering	Merancang, membangun, menguji, dan mengevaluasi prototipe jembatan mini dari stik es krim/kayu balsa berdasarkan prinsip distribusi gaya dan kestabilan struktur.
Mathematics	Menghitung resultan gaya ($\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$) dan resultan torsi ($\Sigma \tau = 0$), serta menghitung rasio beban terhadap berat struktur (efisiensi beban).

Aspek	Analisis
Produk/prototipe yang dapat dibuat	Prototipe "Jembatan Mini Tahan Beban" dari bahan sederhana (stik es krim, lem, benang).
Keterampilan abad ke-21	Berpikir kritis (<i>Critical Thinking</i>), Kreativitas (<i>Creativity</i>), Kolaborasi (<i>Collaboration</i>), dan Komunikasi (<i>Communication</i>).
Potensi HOTS	Menganalisis titik kritis kegagalan struktur jembatan dan memodifikasi desain rancangan agar memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang optimal.

3. CAPAIAN DAN TUJUAN PEMBELAJARAN

A. Capaian Pembelajaran (CP - Fase F)

Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kesetimbangan benda tegar dan dinamika rotasi dalam menyelesaikan masalah nyata serta merancang sistem atau struktur sederhana yang memanfaatkan prinsip fisika.

B. Tujuan Pembelajaran

Melalui model *Problem Solving* berpendekatan STEM dan *Deep Learning*, peserta didik dapat:

1. Memahami konsep kesetimbangan benda tegar, momen gaya, gaya tarik, dan gaya tekan.
2. Mengidentifikasi fenomena kegagalan struktur pada bangunan atau jembatan di lingkungan sekitar.
3. Melakukan pengukuran dan eksperimen terkait titik berat dan torsi.
4. Menganalisis data hasil pengujian beban pada struktur jembatan.
5. Menggunakan persamaan fisika ($\Sigma F = 0$ dan $\Sigma \tau = 0$) dalam perhitungan analitis desain.
6. Merancang solusi rekayasa struktur jembatan mini.
7. Membuat dan menguji produk prototipe jembatan mini tahan beban.
8. Mengomunikasikan hasil perancangan dan pengujian secara ilmiah.
9. Melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran dan kualitas produk yang dibuat.

C. Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP)

1. Menjelaskan dua syarat kesetimbangan benda tegar dengan benar.
2. Menghitung besar momen gaya (torsi) dan titik berat benda.
3. Merancang sketsa jembatan mini dengan mempertimbangkan distribusi gaya tarik dan tekan.
4. Membuat prototipe jembatan sesuai rancangan menggunakan bahan sederhana.
5. Melakukan uji beban pada prototipe dan mencatat data secara sistematis.
6. Menganalisis hubungan antara desain struktur dengan kapasitas beban maksimum.
7. Mempresentasikan laporan hasil proyek secara lisan dan tertulis.

4. PEMBELAJARAN MENDALAM (*DEEP LEARNING*)

- **Berkesadaran (Mindful):** Pada awal pembelajaran, peserta didik diajak merefleksikan pentingnya keselamatan infrastruktur (seperti jembatan di sekitar mereka) dan menyadari tujuan serta tahapan belajar yang akan mereka lalui.
- **Bermakna (Meaningful):** Konsep abstrak seperti torsi dan titik berat dikaitkan langsung dengan kondisi nyata di lingkungan sekitar, yaitu bagaimana beban kendaraan didistribusikan pada konstruksi jembatan agar tidak roboh.
- **Menggembirakan (Joyful):** Pembelajaran dikemas melalui investigasi berbasis tantangan (*challenge-based learning*), kolaborasi kelompok kecil, eksperimen langsung, dan kompetisi membuat jembatan paling efisien dan kuat.

5. PEMAHAMAN BERMAKNA

1. Keseimbangan suatu benda tidak hanya ditentukan oleh besar gaya yang bekerja, tetapi juga oleh letak titik aplikasi gaya tersebut terhadap poros (momen gaya).
2. Struktur bangunan yang kuat (seperti jembatan) mendistribusikan beban eksternal menjadi gaya-gaya internal berupa gaya tarik dan gaya tekan pada komponen-komponen penyusunnya.
3. Efisiensi sebuah desain rekayasa diukur dari seberapa besar beban yang mampu ditopang dibandingkan dengan berat struktur itu sendiri.

6. PERTANYAAN PEMANTIK

1. Mengapa jembatan penyeberangan atau jembatan desa sering kali menggunakan rangka segitiga alih-alih bentuk kotak biasa?
2. Bagaimana sebuah truk yang berat bisa melintasi jembatan tanpa membuat jembatan tersebut jungkir balik atau patah di tengah?
3. Di mana titik kritis atau bagian mana dari sebuah jembatan yang paling besar mengalami tekanan dan tarikan saat diberi beban berat?

7. INTEGRASI STEM

Komponen STEM	Implementasi pada Pembelajaran Fisika
Science	Mempelajari konsep syarat kesetimbangan benda tegar ($\Sigma F = 0$, $\Sigma \tau = 0$), torsi, titik berat, serta karakteristik gaya tarik dan gaya tekan pada material.
Technology	Menggunakan kalkulator/spreadsheet untuk menghitung rasio kekuatan beban dan menggunakan kamera smartphone untuk merekam uji pembebanan jembatan.
Engineering	Merancang, merakit, menguji, dan memperbaiki struktur miniatur jembatan dari stik es krim untuk memaksimalkan kekuatan menahan beban.
Mathematics	Menghitung besar torsi ($\tau = F \cdot l$), menganalisis resultan gaya, serta menghitung efisiensi beban (Rasio Beban = $\frac{\text{Beban Maksimum}}{\text{Berat Jembatan}}$).

8. SKENARIO MASALAH NYATA

- **Kasus:** Di beberapa wilayah, akses penyeberangan antar-dusun sering menggunakan jembatan sederhana yang rentan melendut atau rusak ketika dilewati beban berat secara bersamaan. Sering kali perancang pemula mengabaikan distribusi titik tumpu dan jenis rangka struktur (tarik vs tekan), sehingga jembatan mudah patah di tengah.
- **Tantangan:** Setiap kelompok peserta didik ditantang untuk merancang dan membangun prototipe "**Jembatan Mini Tahan Beban**" dengan panjang bentang tertentu menggunakan bahan stik es krim dan lem, yang mampu menahan beban maksimum (misalnya beban uji berupa botol berisi air atau beban logam) secara efisien.

9. LANGKAH PEMBELAJARAN

PERTEMUAN 1 (3 JP = 135 Menit): Eksplorasi Konsep, Analisis Masalah, dan Perancangan Desain

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Membuka kelas dengan salam, mengecek kehadiran, dan memimpin doa. Menampilkan video runtuhnya/melengkungnya jembatan akibat kelebihan beban.	Menyimak video fenomena nyata, merespons pertanyaan awal guru, dan menyadari pentingnya topik pembelajaran.	-	Berkesadaran & Bermakna	15 menit
Apersepsi & Pertanyaan Pemantik	Mengajukan pertanyaan pemantik mengenai mengapa jembatan harus kokoh dan bentuk rangka apa yang sering digunakan.	Berdiskusi secara kelompok kecil (4 orang) menjawab pertanyaan pemantik berdasarkan pengalaman sehari-hari.	-	Bermakna	15 menit
Tahap 1 & 2: Identify & Define	Memandu peserta didik memahami skenario masalah nyata: membuat jembatan mini tahan beban. Menjelaskan batasan dan kriteria proyek.	Mengidentifikasi masalah rekayasa jembatan, merumuskan batasan proyek (bahan stik es krim, panjang bentang minimal 30 cm).	Science & Engineering	Berkesadaran	20 menit
Tahap 3 & 4: Explore & Explain	Memfasilitasi demonstrasi/eksperimen singkat mengenai torsi, syarat kesetimbangan benda tegar, dan karakteristik gaya tarik-tekan pada struktur rangka.	Melakukan eksperimen mini titik berat dan torsi, mencatat data, serta menghubungkannya dengan konsep fisika.	Science & Mathematics	Bermakna & Menggembirakan	40 menit
Tahap 5: Design	Membimbing peserta didik berdiskusi dalam kelompok untuk membuat	Merancang gambar teknik/sketsa jembatan pada	Engineering & Mathematics	Kreatif & Kolaboratif	35 menit

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
	sketsa desain jembatan, menghitung perkiraan titik tumpu, dan memilih pola rangka (segitiga/truss).	LKPD, menentukan jumlah stik es krim, dan menghitung estimasi kekuatan berdasarkan prinsip torsi.			
Penutup (P1)	Menyimpulkan kegiatan pertemuan pertama, meminta kelompok menyiapkan alat/bahan untuk pertemuan berikutnya, dan menutup dengan doa.	Melakukan refleksi singkat terkait desain yang telah dibuat.	-	Berkesadaran	10 menit

PERTEMUAN 2 (3 JP = 135 Menit): Pembuatan, Pengujian, Analisis, dan Presentasi

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Pendahuluan	Menyapa peserta didik, memeriksa kesiapan alat dan bahan proyek yang dibawa masing-masing kelompok.	Menyiapkan alat dan bahan (stik es krim, lem, gunting, alat uji beban).	-	Berkesadaran	10 menit
Tahap 6: Create	Memantau proses pembuatan prototipe jembatan sesuai dengan desain rancangan yang telah disetujui di Pertemuan 1.	Memotong, menyusun, dan merekatkan stik es krim menjadi prototipe jembatan mini sesuai sketsa desain.	Engineering	Menggembirakan & Kolaboratif	45 menit
Tahap 7 & 8: Test & Analyze	Memandu jalannya pengujian prototipe jembatan (pemberian beban bertahap di tengah bentang hingga struktur mengalami deformasi/patah). Mencatat data beban maksimum.	Melakukan uji beban pada prototipe jembatan, mengukur berat jembatan, menghitung rasio efisiensi beban, serta mencatat titik kegagalan struktur.	Technology & Mathematics	Bermakna & Kritis	35 menit
Tahap 9: Improve	Memfasilitasi diskusi evaluasi mengapa struktur bisa patah di titik tertentu dan bagaimana cara memperbaikinya.	Menganalisis kelemahan desain, mendiskusikan bagian struktur yang memerlukan penambahan penguat (gaya tarik/tekan).	Engineering	Berpikir Kritis	15 menit

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Tahap 10: Communicate	Memberikan kesempatan setiap kelompok untuk mempresentasikan prototipe, data hasil uji beban, analisis fisika, dan refleksi.	Mempresentasikan hasil karya, mendemonstrasikan kekuatan jembatan, dan menjawab tanggapan kelompok lain.	Science & Mathematics	Komunikatif & Percaya Diri	20 menit
Penutup	Memberikan penguatan konsep, memandu pengisian lembar refleksi akhir, memberikan umpan balik, dan menutup pembelajaran.	Menyelesaikan lembar refleksi, mendengarkan umpan balik, dan merapikan ruang kelas.	-	Berkesadaran	10 menit

10. EKSPERIMEN FISIKA (Eksperimen Pendukung: Torsi dan Titik Berat)

- **Tujuan:** Menentukan pengaruh lengan gaya terhadap besarnya momen gaya (torsi) dan menentukan letak titik berat benda tegar sederhana.
- **Rumusan Masalah:** Bagaimana pengaruh jarak titik tumpu (lengan gaya) terhadap besar gaya yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan?
- **Hipotesis:** Semakin besar lengan gaya dari poros, maka gaya yang diperlukan untuk menghasilkan momen gaya yang sama akan semakin kecil.
- **Variabel Bebas:** Jengan gaya / jarak beban dari poros (r).
- **Variabel Terikat:** Besarnya gaya kuasa/beban penyeimbang yang diperlukan (F).
- **Variabel Kontrol:** Berat beban utama dan panjang total mistar/tuas.
- **Alat dan Bahan:**
 1. Penggaris / mistar kayu panjang 50 cm (sebagai batang/benda tegar)
 2. Neraca pegas atau beban gantung berkaliber
 3. Tumpuan / statif mini
 4. Benang secukupnya
- **Keselamatan Kerja:** Berhati-hati saat menggantung beban agar tidak jatuh menimpa kaki. Pastikan tumpuan stabil.
- **Langkah Kerja:**
 1. Letakkan penggaris di atas tumpuan hingga berada dalam posisi seimbang (titik tumpu di tengah).
 2. Gantungkan beban tetap (W_1) di sisi kiri dari titik tumpu pada jarak $r_1 = 10$ cm.
 3. Geser posisi beban penyeimbang (W_2) di sisi kanan hingga penggaris kembali seimbang mendatar.

4. Catat jarak beban penyeimbang dari titik tumpu (r_2).

5. Ulangi langkah 2–4 dengan variasi jarak r_1 yang berbeda.

• **Data yang Harus Dikumpulkan:** Jarak beban 1 (r_1), jarak beban 2 (r_2), dan besar gaya/beban.

• **Tabel Pengamatan:**

No	Beban 1 (W_1) (N)	Jarak 1 (r_1) (m)	Jarak 2 (r_2) (m)	Torsi Kiri ($\tau_1 = W_1 \cdot r_1$) (Nm)
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...

• **Pengolahan Data & Grafik:** Membuat grafik hubungan antara r_1 terhadap r_2 atau r terhadap F .

• **Persamaan Fisika:** Syarat kesetimbangan rotasi: $\Sigma \tau = 0 \implies F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$.

• **Analisis:** Dari data percobaan, hasil kali antara gaya dan lengan gaya pada kesetimbangan menunjukkan nilai yang konstan (atau mendekati), membuktikan hukum momen gaya.

• **Kesimpulan:** Momen gaya berbanding lurus dengan besar gaya dan lengan gaya. Untuk menyeimbangkan beban yang besar pada jarak dekat, diperlukan lengan gaya yang lebih panjang.

11. ENGINEERING DESIGN PROCESS (EDP) DALAM PROYEK JEMBATAN

1. **Identify the Problem:** Peserta didik mengidentifikasi kebutuhan membuat jembatan mini dari stik es krim yang kuat menahan beban di tengah bentang 30 cm.
2. **Research:** Mengkaji literatur atau literatur singkat tentang struktur rangka batang (*truss bridge*), gaya tarik (tension), dan gaya tekan (compression).
3. **Brainstorm:** Berdiskusi dalam kelompok merumuskan bentuk rangka (pola segitiga atau diagonal) yang paling optimal mendistribusikan beban.
4. **Design:** Menggambar sketsa desain jembatan lengkap dengan dimensi ukuran dan perkiraan tata letak stik es krim.
5. **Build:** Membangun prototipe jembatan sesuai desain menggunakan stik es krim dan lem secara rapi.
6. **Test:** Menguji prototipe dengan memberikan beban tambahan secara bertahap di tengah jembatan hingga jembatan mengalami deformasi/patah.
7. **Evaluate:** Menganalisis hasil uji beban, mencari letak struktur yang pertama kali gagal (patah atau melengkung).
8. **Improve:** Memperbaiki atau memperkuat bagian titik kritis pada rancangan ulang (jika waktu memungkinkan) atau mencatat rekomendasi perbaikan.
9. **Communicate:** Mempresentasikan proses perancangan, hasil uji, dan analisis fisika di depan kelas.

12. LKPD FISIKA BERBASIS STEM

(Lembar Kerja Peserta Didik)

A. Identitas

- Nama Anggota Kelompok: 1. 2. 3. 4.
- Kelas: XI
- Tanggal:

B. Judul Kegiatan

Proyek Rekayasa: Merancang dan Menguji "Jembatan Mini Tahan Beban" Berbasis Keseimbangan Benda Tegar

C. Tujuan

1. Menerapkan konsep syarat keseimbangan benda tegar dan momen gaya pada struktur jembatan.
2. Merancang dan membangun prototipe jembatan mini yang efisien dan kuat menahan beban.

D. Fenomena / Masalah

Banyak jembatan penyeberangan atau jembatan pedesaan mengalami kerusakan karena ketidakmampuan struktur dalam mendistribusikan gaya tekan dan gaya tarik akibat beban kendaraan yang melintas. Bagaimana kita bisa merancang jembatan mini yang kokoh menggunakan stik es krim?

E. Pertanyaan Investigasi

Bagaimana bentuk struktur rangka jembatan yang paling efektif menahan beban maksimum di tengah bentang jembatan?

F. Hipotesis

(Tuliskan hipotesis kelompok Anda mengenai bentuk struktur jembatan yang paling kuat) ...

G. Alat dan Bahan

1. Stik es krim ($\pm$ 50–70 batang)
2. Lem kayu / tembak (*hot glue*)
3. Gunting / cutter (dengan pengawasan)
4. Timbangan digital / neraca
5. Perangkat uji beban (wadah dan beban gantung / botol berisi air)

H. Keselamatan Kerja

- Hati-hati menggunakan benda tajam saat memotong stik es krim.
- Gunakan lem tembak dengan hati-hati agar tidak terkena kulit.

I. Langkah Eksperimen & Pembuatan

1. Buatlah rancangan sketsa jembatan pada kolom desain di bawah ini.
2. Susun dan rekatkan stik es krim sesuai sketsa yang dibuat.

3. Timbang berat total prototipe jembatan sebelum diuji.
4. Letakkan jembatan di antara dua meja dengan bentang 30 cm.
5. Berikan beban secara bertahap di tengah jembatan hingga jembatan runtuh/patah. Catat beban maksimumnya!

J. Tabel Data Pengujian

No	Berat Prototipe Jembatan ($W_{jembatan}$) (gram)	Beban Maksimum yang Ditahan (W_{beban}) (gram)	Rasio Efisiensi ($\frac{W_{beban}}{W_{jembatan}}$)
1			

K. Perhitungan Fisika & Analisis

1. Hitung besar resultan gaya vertikal pada saat jembatan seimbang tepat sebelum runtuh ($\sum F_y = 0$).
2. Analisis bagian mana dari jembatan yang mengalami **gaya tarik** dan bagian mana yang mengalami **gaya tekan**.

L. Desain Solusi (Sketsa Rancangan)

(Sediakan kotak kosong untuk menggambar sketsa jembatan) [Ruang Sketsa Rancangan Jembatan]

M. Analisis Hasil Pengujian & Perbaikan Produk

- Bagian manakah dari jembatan kelompok Anda yang pertama kali patah? Mengapa hal tersebut dapat terjadi ditinjau dari konsep torsi atau titik berat?
- Perbaikan apa yang akan dilakukan jika diberi kesempatan merancang ulang?

N. Kesimpulan

(Tuliskan kesimpulan proyek Anda) ...

O. Refleksi Peserta Didik

- Apa hal paling menarik yang Anda pelajari hari ini?
- Kesulitan apa yang dihadapi saat merakit jembatan dan bagaimana cara mengatasinya?

13. ASESMEN

A. Asesmen Diagnostik (Awal Pembelajaran)

Jawablah 5 pertanyaan berikut untuk mengecek pemahaman awal:

1. Apa yang dimaksud dengan benda tegar dalam fisika?
2. Sebutkan dua syarat utama agar suatu benda tegar berada dalam keadaan seimbang!
3. Apa perbedaan antara gaya geser, gaya tarik, dan gaya tekan pada suatu struktur bangunan?
4. Mengapa pintu rumah memiliki gagang pintu yang letaknya jauh dari engselnya?

5. Apa yang dimaksud dengan titik berat suatu benda?

B. Asesmen Formatif (Proses Pembelajaran)

Dinilai menggunakan lembar pengamatan guru terhadap:

1. Keaktifan dan keterlibatan dalam kelompok.
2. Keterampilan melakukan eksperimen titik berat dan torsi.
3. Ketepatan melakukan pengukuran dan perhitungan matematis.
4. Kolaborasi dan proses engineering dalam merancang prototipe jembatan.
5. Kualitas diskusi dan penyampaian argumentasi ilmiah saat presentasi.

C. Asesmen Sumatif (Akhir Pembelajaran)

Soal Pilihan Ganda:

1. Sebuah batang homogen dengan panjang 4 meter bermassa 2 kg diputar pada salah satu ujungnya. Jika sebuah gaya 10 N diberikan tegak lurus pada jarak 2 meter dari poros, besar momen gaya yang dihasilkan adalah... A. 5 Nm B. 10 Nm C. 20 Nm D. 40 Nm E. 80 Nm (*Kunci Jawaban: C*)
2. Syarat utama kesetimbangan translasi bagi suatu benda tegar adalah... A. $\Sigma \tau = 0$ B. $\Sigma F = 0$ C. $\Sigma v = 0$ D. $\Sigma a \neq 0$ E. $\Sigma W = 0$ (*Kunci Jawaban: B*)
3. Pada konstruksi jembatan rangka batang (*truss bridge*), bagian batang diagonal atas umumnya mengalami... A. Gaya tekan B. Gaya tarik C. Gaya geser murni D. Torsi maksimal E. Beban nol (*Kunci Jawaban: A*)
4. Titik tangkap gaya berat total dari seluruh partikel penyusun benda disebut... A. Pusat massa B. Titik tumpu C. Titik berat D. Poros rotasi E. Titik didih (*Kunci Jawaban: C*)
5. Sebuah papan reklame bermassa 10 kg digantung pada jarak tertentu dari dinding. Jika sistem berada dalam keadaan seimbang rotasi, maka besar total momen gaya terhadap poros engsel adalah... A. -10 Nm B. 0 Nm C. 10 Nm D. 98 Nm E. Tak terhingga (*Kunci Jawaban: B*)

Soal Uraian (HOTS & Analisis Matematis):

1. **(HOTS - Fenomena Jembatan):** Sebuah jembatan papan kayu homogen sepanjang 6 meter bermassa 150 kg diletakkan di atas dua pilar tumpu yang berjarak 1 meter dari masing-masing ujungnya. Seorang anak bermassa 50 kg berdiri pada jarak 2 meter dari pilar kiri. Hitunglah besar gaya normal yang diberikan oleh pilar kiri dan pilar kanan pada jembatan tersebut! ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

◦ *Kunci Jawaban & Pembahasan:*

- Panjang jembatan $L = 6 \text{ m}$, titik berat di tengah (3 m dari ujung kiri), berat jembatan $W_j = 1500 \text{ N}$. Berat anak $W_a = 500 \text{ N}$ pada $x = 2 \text{ m}$ dari pilar kiri.
- Menggunakan syarat kesetimbangan rotasi $\Sigma \tau$ terhadap pilar kiri = 0: $\tau_{jembatan} = 1500 \cdot (3 - 1) = 3000 \text{ Nm}$ (searah jarum jam jika dipandang dari pilar kanan, perhatikan posisi pilar di $x = 1$ dan $x = 5$). Mari tetapkan poros di pilar kiri ($x = 1 \text{ m}$): Berat jembatan di pusat $x = 3 \text{ m}$ (lengan gaya $3 - 1 = 2 \text{ m}$). Berat anak di $x = 2 \text{ m}$ (lengan gaya $2 - 1 = 1 \text{ m}$). Gaya normal pilar kanan (N_2) berada di $x = 5 \text{ m}$ (lengan gaya $5 - 1 = 4 \text{ m}$). $\Sigma \tau_{\text{pilar kiri}} = 0 \implies (N_2 \cdot 4) - (W_j \cdot 2) - (W_a \cdot 1) = 0$ $4N_2 = (1500 \cdot 2) + (500 \cdot 1) = 3000 +$

$$500 = 3500 N_2 = 875 \text{ N. Dari } \Sigma F_y = 0 \implies N_1 + N_2 - W_j - W_a = 0 \implies N_1 + 875 - 1500 - 500 = 0 \implies N_1 = 1125 \text{ N.}$$

- *Skor Maksimal: 10*

2. **(Analisis Matematis Torsi):** Sebuah batang ringan panjang 3 meter diberi tiga gaya sejajar vertikal ke bawah: $F_1 = 10 \text{ N}$ di ujung kiri ($x = 0$), $F_2 = 20 \text{ N}$ di tengah ($x = 1.5 \text{ m}$), dan $F_3 = 30 \text{ N}$ di ujung kanan ($x = 3 \text{ m}$). Tentukan di mana letak titik tumpu (poros) agar batang tersebut tepat berada dalam keadaan seimbang!

- *Kunci Jawaban & Pembahasan:* Misalkan jarak poros dari ujung kiri adalah x . Total momen gaya terhadap poros harus nol ($\Sigma \tau = 0$). $\tau_1 - \tau_2 - \tau_3 = 0$ (asumsi arah rotasi berlawanan). $10(x) - 20(1.5 - x) - 30(3 - x) = 0$ (jika poros berada di antara 0 dan 1.5, uji posisi). Mari gunakan persamaan resultan momen gaya: $10x + 20(x - 1.5) + 30(x - 3) = 0 \implies 60x - 120 = 0 \implies x = 2 \text{ meter dari ujung kiri.}$

- *Skor Maksimal: 10*

3. **(Soal Berbasis Desain Rekayasa STEM):** Mengapa penambahan struktur diagonal (trigonal) pada jembatan mini stik es krim mampu meningkatkan kapasitas beban maksimum secara signifikan dibandingkan bentuk persegi panjang biasa? Jelaskan berdasarkan konsep gaya tarik dan tekan.

- *Kunci Jawaban & Pembahasan:* Bentuk segitiga adalah bentuk geometri yang kaku (*rigid*). Ketika diberi beban di titik puncaknya, gaya luar disalurkan secara merata ke dua sisi diagonal sebagai gaya tekan dan ke sisi alas sebagai gaya tarik, mencegah perubahan bentuk (deformasi) struktur.

- *Skor Maksimal: 10*

14. RUBRIK PENILAIAN STEM

Aspek	Skor 1 (Kurang)	Skor 2 (Cukup)	Skor 3 (Baik)	Skor 4 (Sangat Baik)
Pemahaman Konsep Fisika	Tidak memahami konsep kesetimbangan dan torsi.	Memahami konsep dasar tetapi keliru dalam aplikasinya.	Memahami konsep kesetimbangan dan torsi dengan baik.	Sangat mendalam dalam menguasai konsep fisika dan struktur jembatan.
Eksperimen	Tidak dapat melakukan eksperimen sesuai prosedur.	Melakukan eksperimen dengan bimbingan penuh.	Melakukan eksperimen secara mandiri dan sistematis.	Melakukan eksperimen sangat rapi, teliti, dan mandiri.
Pengukuran	Pengukuran data sangat tidak akurat.	Pengukuran kurang teliti.	Pengukuran cukup akurat dan sesuai prosedur.	Pengukuran sangat teliti, presisi, dan berulang dengan akurat.
Analisis Data	Tidak mampu mengolah data.	Mengolah data dengan banyak kesalahan hitung.	Mengolah data dan grafik dengan benar.	Analisis data sangat mendalam, akurat, dan komprehensif.
Science	Prinsip sains tidak tampak.	Prinsip sains tampak minim.	Prinsip sains dijelaskan dengan	Prinsip sains terintegrasi sempurna dalam

Aspek	Skor 1 (Kurang)	Skor 2 (Cukup)	Skor 3 (Baik)	Skor 4 (Sangat Baik)
			cukup baik.	penjelasan ilmiah.
Technology	Tidak memanfaatkan teknologi sama sekali.	Teknologi digunakan seadanya.	Memanfaatkan kalkulator/kamera dengan tepat.	Memanfaatkan teknologi digital (kamera/spreadsheet) secara optimal.
Engineering	Rancangan jembatan gagal total.	Rancangan sederhana tanpa perhitungan struktur.	Rancangan fungsional dan terstruktur dengan baik.	Rancangan sangat kreatif, kokoh, dan berbasis prinsip rekayasa yang matang.
Mathematics	Perhitungan matematis salah semua.	Perhitungan ada yang benar sebagian besar keliru.	Perhitungan rumus fisika dan rasio benar.	Perhitungan matematis sangat akurat, rapi, dan sistematis.

15. ASESMEN PRODUK / PROTOTIPE

Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Skor (1–4)
Kesesuaian Produk	Prototipe sesuai dengan masalah nyata dan batasan desain.	
Konsep Fisika	Penerapan konsep torsi, titik berat, serta gaya tarik/tekan tampak jelas pada bentuk jembatan.	
Fungsi Produk	Jembatan mampu berdiri stabil dan menahan beban uji.	
Ketepatan Pengukuran	Ukuran dan dimensi jembatan presisi sesuai sketsa perencanaan.	
Efisiensi	Memiliki rasio perbandingan berat jembatan terhadap beban maksimum yang tinggi.	
Kreativitas & Estetika	Desain rapi, estetis, dan menggunakan bahan secara efisien.	
Keamanan	Aman digunakan dan tidak bersudut tajam berbahaya.	

16. DIFERENSIASI

• Diferensiasi Konten:

- Peserta didik dengan kemampuan tinggi diberikan tambahan tantangan menganalisis jembatan suspensi kompleks.
- Peserta didik tingkat sedang/rendah difokuskan pada pemahaman dasar struktur jembatan rangka batang sederhana (*truss bridge*).

• Diferensiasi Proses:

- Kelompok dengan kecepatan belajar lebih cepat didorong mengeksplorasi perhitungan matematis torsi secara mandiri.
- Kelompok yang membutuhkan bimbingan diberikan *scaffolding* berupa lembar panduan langkah demi langkah saat merakit jembatan.

- **Diferensiasi Produk:**

- Peserta didik dapat menyajikan laporan akhir dalam bentuk laporan tertulis, infografis digital (Canva), atau presentasi video singkat proses pembuatan jembatan.

17. REMEDIAL

- Diberikan kepada peserta didik yang belum mencapai Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP).

- **Bentuk Remedial:**

1. Bimbingan tutor sebaya dalam memahami kembali rumus momen gaya ($\tau = F \cdot r$) dan syarat kesetimbangan.
2. Latihan terbimbing membaca grafik dan menyelesaikan soal perhitungan sederhana terkait titik berat dan torsi.

18. PENGAYAAN

- Diberikan kepada peserta didik yang telah mencapai atau melampaui tujuan pembelajaran.

- **Bentuk Pengayaan:**

- Peserta didik diberi tantangan merancang model jembatan dengan variasi bahan tambahan (misalnya benang sebagai kabel penyangga layaknya jembatan *suspension bridge*) dan menghitung analisis gaya tegangan tali secara lebih kompleks.

19. REFLEKSI

A. Refleksi Peserta Didik (Lembar Refleksi Mandiri)

1. Konsep Fisika apa saja yang paling saya pahami setelah merancang jembatan ini?
2. Bagian mana yang paling menantang selama proses pembuatan dan pengujian prototipe?
3. Bagaimana kelompok kami mengatasi kegagalan saat uji beban pertama?
4. Apa hubungan antara materi kesetimbangan benda tegar dengan konstruksi bangunan di dunia nyata?

B. Refleksi Guru

1. Apakah alokasi waktu 6 JP cukup efektif untuk memfasilitasi seluruh tahapan STEM dan Deep Learning?
2. Hambatan apa saja yang ditemui peserta didik saat melakukan perakitan jembatan mini?
3. Bagaimana efektivitas model *Problem Solving* dalam membangun keterlibatan aktif peserta didik?

20. SUMBER BELAJAR DAN TEKNOLOGI

- **Sumber Belajar:**

1. Buku Fisika SMA/MA Kelas XI Kurikulum Merdeka.
2. Lingkungan sekitar sekolah (observasi struktur bangunan/jembatan).

- **Teknologi:**

1. **Kalkulator / Spreadsheet (Excel):** Untuk mengolah data rasio beban dan perhitungan momen gaya.
2. **Kamera Smartphone:** Untuk mendokumentasikan proses perakitan dan merekam detik-detik pengujian beban jembatan.
3. **Video Pembelajaran:** Menampilkan cuplikan struktur jembatan dunia dan analisis kegagalan konstruksi.

21. PRODUK AKHIR

- Prototipe fisik "**Jembatan Mini Tahan Beban**" dari stik es krim.
 - Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) terisi lengkap beserta data pengujian, perhitungan matematis, dan analisis fisika.
 - Presentasi kelompok dan dokumentasi uji beban jembatan.
-

MODUL AJAR FISIKA

Kurikulum Merdeka — Pendekatan STEM & Pembelajaran Mendalam

Materi: Gelombang Bunyi — Proyek "Piano Air Sederhana"

SMA Negeri 2 Timang Gajah, SMA Negeri 1 Bukit, SMA Terpadu Semayoen Nusantara

Kelas XI / Fase F

Tahun Pelajaran 2026/2027 (asumsi — sesuaikan)

1. Identitas Pembelajaran

Komponen	Keterangan
Satuan Pendidikan	SMAN 2 Timang Gajah, SMAN 1 Bukit, SMAT Semayoen Nusantara
Mata Pelajaran	Fisika
Kelas / Fase	XI / Fase F
Semester	Ganjil *(asumsi — sesuaikan dengan kalender akademik)*
Tahun Pelajaran	2026/2027 *(asumsi — sesuaikan)*
Materi	Gelombang Bunyi: Getaran, Gelombang Bunyi, Frekuensi, dan Resonansi
Alokasi Waktu	6 JP (3 pertemuan $\times$ 2 JP; 1 JP = 45 menit)
Jumlah Peserta Didik	32 peserta didik *(asumsi — sesuaikan)*, dibagi 6–8 kelompok
Model Pembelajaran	Project Based Learning (PjBL)
Pendekatan	STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)
Orientasi	Pembelajaran Mendalam (Deep Learning): Berkesadaran, Bermakna, Menggembirakan
Target Peserta Didik	Peserta didik reguler, dengan penyesuaian bagi kemampuan rendah, sedang, dan tinggi

Kompetensi Awal

Peserta didik telah memahami konsep getaran sederhana (periode dan frekuensi), besaran gelombang (panjang gelombang, cepat rambat), serta operasi matematis dasar (perbandingan, akar, grafik linier) dari materi kelas sebelumnya.

Profil Lulusan yang Dikembangkan

- Kreatif — merancang dan memodifikasi purwarupa Piano Air Sederhana.
- Bernalar Kritis — menganalisis hubungan tinggi kolom udara dengan frekuensi bunyi.
- Gotong Royong — bekerja sama dalam kelompok merakit dan menguji alat.
- Mandiri — mengelola waktu dan tanggung jawab dalam proyek.

Sarana dan Prasarana

- Botol kaca/plastik bening identik (6–8 buah per kelompok), air, pewarna makanan (opsional).
- Penggaris/meteran, sendok/stik kayu pemukul, corong kecil untuk mengisi air.
- Smartphone dengan aplikasi pengukur frekuensi bunyi (misalnya Phyphox atau Spectroid), speaker eksternal (opsional).
- Laptop/proyektor, LKPD cetak, alat tulis, tabung resonansi laboratorium (jika tersedia).
- Akses internet untuk simulasi PhET "Wave on a String"/"Sound" (jika tersedia); jika tidak, gunakan versi luring.

2. Analisis Awal Materi

Aspek	Analisis
Konsep Fisika utama	Getaran (periode, frekuensi), gelombang bunyi (longitudinal), cepat rambat bunyi, resonansi kolom udara tertutup, hubungan panjang kolom udara dengan frekuensi nada.
Fenomena nyata	Bunyi "tuuung" saat botol ditiup atau dipukul; nada berbeda pada gelas berisi air dengan volume berbeda; alat musik tiup dan alat musik pukul tradisional Gayo (mis. canang, suling).
Permasalahan kontekstual	Keterbatasan alat musik di sekolah membuat pembelajaran seni dan eksperimen bunyi kurang variatif; perlu alat musik sederhana dan murah untuk memahami konsep gelombang bunyi sekaligus berkreasi.
Potensi eksperimen	Mengukur frekuensi bunyi pada botol dengan variasi tinggi air/kolom udara, membandingkan hasil pengukuran dengan perhitungan teoritis resonansi pipa tertutup.
Unsur Science	Hukum getaran, gelombang bunyi longitudinal, resonansi, cepat rambat bunyi di udara.
Unsur Technology	Aplikasi pengukur frekuensi pada smartphone, spreadsheet untuk pengolahan data dan grafik.
Unsur Engineering	Proses merancang, merakit, menguji, dan menyempurnakan purwarupa Piano Air Sederhana agar menghasilkan tangga nada yang diinginkan.
Unsur Mathematics	Perhitungan frekuensi resonansi $f = v/4L$, konversi satuan, pembuatan grafik hubungan tinggi kolom udara vs frekuensi, analisis proporsi/perbandingan.
Produk/prototipe yang dapat dibuat	Purwarupa "Piano Air Sederhana" dari rangkaian botol berisi air dengan tinggi berbeda yang dapat dimainkan membentuk tangga nada sederhana (do-re-mi atau minimal 5 nada).
Keterampilan abad ke-21	Berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, literasi digital, dan literasi data (4C).
Potensi HOTS	Menganalisis hubungan matematis antara variabel (tinggi air, panjang kolom udara, frekuensi), mengevaluasi hasil pengujian, mensintesis perbaikan rancangan berdasarkan data.

3. Capaian dan Tujuan Pembelajaran

A. Capaian Pembelajaran (Fase F)

Pada akhir Fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip gelombang bunyi, termasuk getaran, frekuensi, dan resonansi, untuk menjelaskan berbagai fenomena dalam kehidupan sehari-hari; melakukan penyelidikan ilmiah untuk mengukur besaran-besaran gelombang bunyi; serta merancang, membuat, dan menguji solusi/produk sederhana berbasis prinsip gelombang bunyi secara kolaboratif dan bertanggung jawab.

B. Tujuan Pembelajaran

Melalui kegiatan Project Based Learning berpendekatan STEM, peserta didik mampu:

1. Memahami konsep getaran, gelombang bunyi, frekuensi, dan resonansi pada kolom udara tertutup.
2. Mengidentifikasi fenomena resonansi bunyi pada benda-benda di sekitar (botol, gelas, alat musik).
3. Melakukan pengukuran frekuensi bunyi pada kolom udara dengan variasi tinggi air menggunakan aplikasi pengukur frekuensi.
4. Menganalisis data hasil pengukuran dan membandingkannya dengan perhitungan teoritis frekuensi resonansi.
5. Menggunakan persamaan resonansi pipa tertutup ($f = v/4L$) untuk memprediksi tinggi kolom udara yang menghasilkan nada tertentu.
6. Merancang solusi berupa purwarupa Piano Air Sederhana yang dapat menghasilkan rangkaian nada.
7. Membuat dan menguji produk Piano Air Sederhana, serta memperbaikinya berdasarkan hasil pengujian.
8. Mengomunikasikan hasil rancangan, pengujian, dan perbaikan produk secara lisan dan tertulis.
9. Melakukan refleksi terhadap proses belajar dan pemecahan masalah yang telah dilakukan.

C. Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP)

- Menjelaskan hubungan antara panjang kolom udara dan frekuensi resonansi dengan benar.
- Mengukur frekuensi bunyi pada minimal 5 variasi tinggi air dengan data yang konsisten.
- Menghitung frekuensi teoritis menggunakan persamaan resonansi kolom udara tertutup.
- Menghasilkan purwarupa Piano Air Sederhana yang dapat memainkan minimal 5 nada berbeda yang dapat dibedakan telinga.
- Mempresentasikan proses rancang-bangun, data pengujian, dan perbaikan produk secara sistematis.

4. Integrasi Pembelajaran Mendalam (Deep Learning)

Berkesadaran (Mindful)

Di awal pembelajaran, guru menyampaikan tujuan belajar secara eksplisit dan mengajak peserta didik menuliskan target pribadi pada LKPD ("Apa yang ingin saya kuasai hari ini?"). Peserta didik diajak menyadari proses berpikirnya melalui pertanyaan reflektif di setiap tahap (Identify hingga Communicate), sehingga mereka sadar mengapa mereka melakukan setiap langkah, bukan sekadar mengikuti instruksi.

Bermakna (Meaningful)

Konsep resonansi dan gelombang bunyi dikaitkan dengan alat musik tradisional yang dikenal peserta didik (misalnya canang, suling bambu) dan pengalaman sehari-hari (meniup botol kosong, mengisi gelas air lalu memukulnya). Proyek Piano Air Sederhana memberi konteks nyata: peserta didik membuat alat musik fungsional dari bahan sederhana yang dapat mereka bawa pulang atau gunakan pada acara sekolah.

Menggembirakan (Joyful)

Pembelajaran dikemas melalui eksperimen langsung (mengisi dan memukul botol), kompetisi kecil antar-kelompok (kelompok mana yang berhasil membuat tangga nada paling akurat), serta sesi "konser mini" di akhir pembelajaran di mana tiap kelompok memainkan lagu sederhana menggunakan Piano Air buatan mereka.

5. Pemahaman Bermakna

- Tinggi kolom udara dalam suatu wadah menentukan frekuensi (tinggi-rendah nada) bunyi yang dihasilkan — semakin pendek kolom udara, semakin tinggi frekuensinya.
- Prinsip resonansi yang sama mendasari cara kerja berbagai alat musik, mulai dari suling bambu tradisional hingga organ pipa modern.
- Fenomena bunyi yang tampak sederhana (memukul botol berisi air) dapat dijelaskan dan diprediksi secara matematis menggunakan persamaan fisika.
- Proses rancang-bangun (engineering) selalu melibatkan siklus uji coba dan perbaikan berdasarkan data, bukan sekali jadi.
- Fisika dapat digunakan untuk menciptakan karya kreatif dan bermanfaat, bukan hanya untuk memecahkan soal hitungan.

6. Pertanyaan Pemantik

10. Mengapa suara yang dihasilkan saat meniup botol kosong berbeda dengan botol yang sudah diisi sebagian air?
11. Jika kalian ingin membuat nada yang lebih tinggi dari sebuah botol, apakah air di dalamnya perlu ditambah atau dikurangi? Mengapa?
12. Bagaimana pemain suling dapat menghasilkan nada berbeda-beda hanya dengan menutup-buka lubang yang jaraknya berbeda?
13. Jika kalian diminta membuat alat musik dari botol bekas, faktor apa saja yang harus diperhitungkan agar nadanya sesuai dengan tangga nada do-re-mi?
14. Apakah mungkin memprediksi tinggi air yang dibutuhkan untuk menghasilkan nada tertentu tanpa mencoba-coba? Bagaimana caranya?

7. Integrasi STEM

Komponen STEM	Implementasi pada Pembelajaran	Aktivitas Konkret
Science	Konsep getaran, gelombang bunyi longitudinal, dan resonansi kolom udara tertutup.	Peserta didik mengamati dan menjelaskan mengapa kolom udara di atas air beresonansi saat botol dipukul/ditiup.
Technology	Aplikasi pengukur frekuensi (Phyphox/Spectroid), spreadsheet untuk mengolah data dan membuat grafik.	Peserta didik merekam bunyi botol dan membaca nilai frekuensi (Hz) langsung dari aplikasi, lalu mengolahnya di spreadsheet.
Engineering	Proses rancang-bangun purwarupa Piano Air Sederhana: merancang, merakit, menguji, dan menyempurnakan.	Peserta didik menentukan susunan botol, mengisi air sesuai perhitungan, menguji bunyi, dan menyesuaikan tinggi air agar sesuai tangga nada target.
Mathematics	Persamaan resonansi $f = v/4L$, perbandingan, dan analisis grafik hubungan panjang kolom udara–frekuensi.	Peserta didik menghitung panjang kolom udara teoritis untuk setiap nada target, lalu membandingkan dengan hasil pengukuran aktual.

8. Skenario Masalah Nyata

SMAN 2 Timang Gajah, SMAN 1 Bukit, SMAT Semayoen Nusantara akan mengadakan pentas seni sekolah, namun sekolah memiliki keterbatasan alat musik melodis. OSIS meminta bantuan siswa kelas XI untuk merancang alat musik sederhana dan murah yang dapat menghasilkan tangga nada, menggunakan bahan bekas yang mudah didapat di lingkungan sekitar (botol kaca/plastik bekas).

Rumusan tantangan: "Bagaimana kelompok kalian dapat merancang dan membuat Piano Air Sederhana dari botol bekas yang mampu menghasilkan minimal 5 nada berbeda yang dapat dibedakan telinga, dengan memanfaatkan prinsip resonansi gelombang bunyi?"

Kriteria keberhasilan proyek:

- Menghasilkan minimal 5 nada yang berbeda dan dapat dibedakan.
- Disertai perhitungan teoritis frekuensi untuk setiap nada.
- Menggunakan bahan yang mudah diperoleh dan aman (botol bekas, air, pewarna makanan).
- Dapat dimainkan untuk memainkan potongan lagu sederhana (misalnya "Twinkle-Twinkle" atau lagu daerah).

9. Langkah Pembelajaran

Alokasi total: 6 JP (3 pertemuan × 2 JP × 45 menit). Struktur mengikuti tahapan Identify–Define–Explore–Explain–Design–Create–Test–Analyze–Improve–Communicate (IDEEDCTAIC).

Pertemuan 1 (2 JP) — Identify, Define, Explore, Explain

A. Pendahuluan (15 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Pembuka	Salam, doa, memeriksa kehadiran, apersepsi dengan menanyakan pengalaman siswa mendengar bunyi botol yang ditiup/dipukul.	Menjawab salam, berdoa, menceritakan pengalaman terkait bunyi botol.	-	Bermakna	5'
Fenomena	Menampilkan video/demo memukul botol berisi air dengan tinggi berbeda; menampilkan gambar alat musik tradisional Gayo.	Mengamati dan mencatat perbedaan bunyi yang terdengar.	Science	Menggembirakan	5'
Pemantik & Tujuan	Mengajukan pertanyaan pemantik nomor 1–2; menyampaikan tujuan pembelajaran dan tantangan proyek Piano Air.	Berdiskusi singkat, menuliskan target belajar pribadi di LKPD.	-	Berkesadaran	5'

B. Kegiatan Inti (60 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
1. Identify	Membagi kelompok; memandu peserta didik mengidentifikasi masalah dari skenario OSIS.	Mengidentifikasi masalah: keterbatasan alat musik dan kebutuhan tangga nada.	Engineering	Bermakna	10'
2. Define	Memandu perumusan masalah dan informasi yang diperlukan (berapa nada, alat apa yang dibutuhkan).	Merumuskan pertanyaan investigasi dan hipotesis awal pada LKPD.	Engineering, Math	Berkesadaran	10'
3. Explore	Mendemonstrasikan cara mengukur frekuensi dengan aplikasi smartphone; membimbing eksperimen awal.	Melakukan eksperimen awal: memukul botol dengan 3 variasi tinggi air, mengukur frekuensi dengan aplikasi.	Science, Technology	Menggembirakan	25'
4. Explain	Memandu diskusi kelas mengaitkan data eksperimen dengan	Menjelaskan hasil pengamatan dengan bahasa sendiri,	Science, Math	Bermakna	15'

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
	konsep resonansi kolom udara tertutup ($f = v/4L$).	menuliskan konsep pada LKPD.			

C. Penutup (15 menit)

Guru bersama peserta didik menyimpulkan konsep resonansi kolom udara; peserta didik mengisi refleksi singkat; guru memberikan tugas menghitung tinggi kolom udara teoritis untuk 5 nada target sebagai persiapan pertemuan berikutnya.

Pertemuan 2 (2 JP) — Design, Create, Test

A. Pendahuluan (10 menit)

Salam dan apersepsi mengulas hasil perhitungan tinggi kolom udara teoritis dari tugas sebelumnya; guru menyampaikan target pertemuan: merancang dan membuat purwarupa.

B. Kegiatan Inti (65 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
5. Design	Membimbing kelompok merancang sketsa susunan botol dan tinggi air target berdasarkan perhitungan.	Membuat sketsa rancangan pada LKPD, menentukan 5–8 botol dan tinggi air target tiap nada.	Engineering, Math	Berkesadaran	15'
6. Create	Membagikan alat dan bahan; mengawasi keselamatan kerja saat mengisi air ke botol.	Merakit purwarupa: mengisi air ke tiap botol sesuai tinggi target menggunakan corong dan penggaris.	Engineering	Menggembirakan	25'
7. Test	Membimbing pengujian bunyi tiap botol dan pengukuran frekuensi aktual menggunakan aplikasi.	Menguji tiap botol, mencatat frekuensi aktual pada tabel data LKPD, membandingkan dengan target.	Science, Technology, Math	Bermakna	25'

C. Penutup (15 menit)

Kelompok mencatat selisih antara frekuensi target dan aktual sebagai bahan perbaikan; guru memberi umpan balik singkat per kelompok; menyampaikan agenda pertemuan berikutnya (analisis dan perbaikan).

Pertemuan 3 (2 JP) — Analyze, Improve, Communicate

A. Pendahuluan (10 menit)

Salam dan apersepsi; guru mengingatkan kriteria keberhasilan proyek dan format presentasi.

B. Kegiatan Inti (65 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
8. Analyze	Membimbing peserta didik membuat grafik hubungan tinggi kolom udara vs	Mengolah data di tabel/spreadsheet, membuat grafik, menghitung %kesalahan	Math, Technology	Bermakna	20'

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
	frekuensi dan menghitung persentase kesalahan (error).	antara frekuensi teori dan aktual.			
9. Improve	Membimbing kelompok menyesuaikan volume air pada botol yang melesetnya besar.	Menambah/mengurangi air pada botol yang hasilnya kurang tepat, menguji ulang hingga mendekati target.	Engineering	Menggembirakan	20'
10. Communicate	Memandu sesi presentasi dan "konser mini" antar kelompok.	Mempresentasikan proses, data, grafik, dan memainkan lagu sederhana dengan Piano Air masing-masing.	Semua unsur STEM	Bermakna, Menggembirakan	25'

C. Penutup (15 menit)

- Kesimpulan: guru dan peserta didik merangkum konsep resonansi dan proses rancang-bangun yang telah dipelajari.
- Refleksi: peserta didik mengisi lembar refleksi individu.
- Umpan balik: guru memberi apresiasi dan catatan perbaikan per kelompok.
- Evaluasi: peserta didik mengerjakan asesmen sumatif (dapat dilanjutkan di luar jam proyek/PR).
- Tindak lanjut: informasi remedial/pengayaan dan rencana pemajangan/pemanfaatan produk pada acara sekolah.
- Penutup: doa dan salam.

10. Rancangan Eksperimen Fisika

Tujuan

Menyelidiki hubungan antara tinggi kolom udara dalam botol dengan frekuensi bunyi yang dihasilkan akibat resonansi.

Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh tinggi kolom udara terhadap frekuensi bunyi yang dihasilkan saat botol dipukul/ditiup?

Hipotesis

Semakin pendek kolom udara (semakin tinggi permukaan air), semakin tinggi frekuensi bunyi yang dihasilkan.

Variabel

- Variabel bebas: tinggi kolom udara (L), diatur melalui volume air dalam botol.
- Variabel terikat: frekuensi bunyi (f) yang terukur.
- Variabel kontrol: jenis botol, cara memukul/meniup, suhu ruangan (memengaruhi cepat rambat bunyi v).

Alat dan Bahan

- Botol kaca/plastik bening identik (diameter dan tinggi sama), 6–8 buah.
- Air, corong kecil, penggaris/meteran, pewarna makanan (opsional agar mudah dibaca).
- Smartphone dengan aplikasi pengukur frekuensi (Phyphox/Spectroid), stik/sendok kayu pemukul.

Keselamatan Kerja

- Gunakan botol yang tidak retak/pecah untuk menghindari luka.
- Berhati-hati saat mengisi air agar tidak tumpah dan membasahi lantai (risiko licin).
- Pukul botol dengan lembut, jangan terlalu keras agar botol tidak pecah.

Langkah Kerja

15. Ukur tinggi total botol dan tentukan 5 variasi tinggi kolom udara (misalnya 4, 6, 8, 10, 12 cm dari mulut botol).
16. Isi air pada tiap botol sehingga kolom udara sesuai variasi yang ditentukan; ukur dengan penggaris.
17. Nyalakan aplikasi pengukur frekuensi pada smartphone dan dekatkan ke mulut botol.
18. Pukul/tiup botol dengan cara yang konsisten, catat frekuensi yang terbaca.
19. Ulangi pengukuran 3 kali untuk tiap botol, catat rata-ratanya pada tabel data.
20. Hitung frekuensi teoritis menggunakan persamaan resonansi kolom udara tertutup, bandingkan dengan hasil pengukuran.

Tabel Pengamatan

No	Tinggi Kolom Udara L (cm)	f Pengukuran 1 (Hz)	f Pengukuran 2 (Hz)	f Pengukuran 3 (Hz)	f Rata-rata (Hz)	f Teori (Hz)	%Kesalahan
1	4	...	...	...	...	...	...
2	6	...	...	...	...	...	...
3	8	...	...	...	...	...	...
4	10	...	...	...	...	...	...
5	12	...	...	...	...	...	...

Pengolahan Data dan Grafik

Peserta didik membuat grafik f (sumbu-y) terhadap L (sumbu-x) menggunakan spreadsheet/kertas grafik, lalu mengamati pola hubungan (berbanding terbalik).

Persamaan Fisika

Untuk kolom udara tertutup pada salah satu ujung (seperti botol berisi air), frekuensi resonansi dasar dirumuskan:

$$f = v / (4L)$$

dengan f = frekuensi (Hz), v = cepat rambat bunyi di udara (± 340 m/s pada suhu ruang), dan L = panjang/tinggi kolom udara (m).

Analisis

Peserta didik membandingkan frekuensi hasil pengukuran dengan hasil perhitungan teoritis, menghitung persentase kesalahan, dan mendiskusikan kemungkinan sumber kesalahan (misalnya cara memukul yang tidak konsisten, gangguan bunyi lingkungan, sensitivitas aplikasi).

Kesimpulan

Peserta didik menyimpulkan bahwa frekuensi bunyi berbanding terbalik dengan tinggi kolom udara, sesuai dengan prinsip resonansi pipa tertutup.

11. Engineering Design Process

Tahap	Aktivitas Peserta Didik
1. Identify the Problem	Mengidentifikasi kebutuhan alat musik sederhana untuk pentas seni sekolah.
2. Research	Mempelajari konsep resonansi kolom udara dan mencari referensi "bottle xylophone/water piano" dari sumber yang tersedia.
3. Brainstorm	Mendiskusikan dalam kelompok berbagai kemungkinan susunan botol dan cara memainkannya.
4. Design	Membuat sketsa rancangan: jumlah botol, urutan nada, dan tinggi air target berdasarkan perhitungan.
5. Build	Merakit purwarupa dengan mengisi air sesuai rancangan.
6. Test	Menguji bunyi tiap botol dan mengukur frekuensi aktual.
7. Evaluate	Membandingkan hasil uji dengan target, menghitung persentase kesalahan.
8. Improve	Menyesuaikan volume air pada botol yang belum sesuai target nada.
9. Communicate	Mempresentasikan produk, data, dan proses rancang-bangun kepada kelas.

12. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) — Piano Air Sederhana

A. Identitas

Nama: _____ Kelas: _____ Kelompok: _____ Tanggal: _____

B. Judul Kegiatan

Merancang dan Menguji "Piano Air Sederhana" Berdasarkan Prinsip Resonansi Gelombang Bunyi

C. Tujuan

Peserta didik mampu menjelaskan hubungan tinggi kolom udara dan frekuensi bunyi, serta merancang purwarupa alat musik sederhana berdasarkan prinsip resonansi.

D. Fenomena/Masalah

Tuliskan pengamatanmu terhadap bunyi botol yang dipukul dengan tinggi air berbeda:

E. Pertanyaan Investigasi

Bagaimana hubungan antara tinggi kolom udara dan frekuensi bunyi yang dihasilkan?

F. Hipotesis

Tuliskan dugaan awal kalian: _____

G. Alat dan Bahan

- Botol identik (6–8 buah), air, pewarna makanan, corong, penggaris, stik pemukul, smartphone dengan aplikasi pengukur frekuensi.

H. Keselamatan Kerja

- Isi air secara hati-hati, jangan sampai tumpah; pukul botol dengan lembut.

I. Langkah Eksperimen

(Ikuti langkah kerja pada bagian 10 — Rancangan Eksperimen Fisika)

J. Tabel Data

No	Tinggi Kolom Udara L (cm)	f Rata-rata (Hz)	f Teori (Hz)	%Kesalahan
1				
2				
3				
4				
5				

K. Perhitungan Fisika

Tuliskan perhitungan frekuensi teoritis untuk minimal 2 botol menggunakan $f = v/4L$:

L. Grafik

Buat grafik f terhadap L pada kolom di bawah ini (atau tempel hasil cetak grafik dari spreadsheet):

--

M. Analisis

Jelaskan pola hubungan yang kalian temukan dan bandingkan dengan hipotesis awal:

N. Desain Solusi (Sketsa Rancangan Piano Air)

Gambarkan sketsa susunan botol dan tinggi air target untuk setiap nada pada kolom di bawah ini:

O. Pembuatan Prototipe

Catat proses pembuatan dan kendala yang dihadapi: _____

P. Pengujian Prototipe

Nada Target	Tinggi Air Target (cm)	f Aktual (Hz)	Sesuai? (Ya/Tidak)
Do			
Re			
Mi			
Fa			
Sol			

Q. Analisis Hasil Pengujian

Botol mana yang paling meleset dari target? Menurut kalian apa penyebabnya?

R. Perbaikan Produk

Tuliskan perbaikan yang kalian lakukan dan hasilnya setelah diperbaiki: _____

S. Kesimpulan

Tuliskan kesimpulan kelompok kalian mengenai hubungan tinggi kolom udara dan frekuensi bunyi:

T. Refleksi

Apa yang paling kalian pelajari dari kegiatan ini? _____

13. Asesmen

A. Asesmen Diagnostik

Diberikan secara lisan/tertulis sebelum pembelajaran dimulai untuk mengecek pemahaman awal.

21. Apa yang kalian ketahui tentang getaran? Berikan satu contoh dalam kehidupan sehari-hari.
22. Menurut kalian, apa yang dimaksud dengan frekuensi bunyi?
23. Pernahkah kalian mendengar bunyi dari meniup botol kosong? Apa yang membuat bunyinya berbeda saat botol diisi air?
24. Apakah kalian tahu apa itu resonansi? Jelaskan dengan bahasa sendiri.
25. Apakah kalian pernah menggunakan aplikasi pengukur suara/frekuensi di smartphone? Jelaskan pengalaman kalian.

B. Asesmen Formatif

Dinilai secara berkelanjutan selama proses pembelajaran melalui observasi guru, mencakup aspek:

- Keaktifan dalam diskusi dan tanya jawab.
- Keterlibatan dalam eksperimen (mengisi air, mengukur, mencatat data).
- Ketepatan dalam pengukuran frekuensi dan tinggi kolom udara.
- Kualitas analisis data dan grafik.
- Partisipasi dalam diskusi kelompok.
- Kerja sama dan pembagian tugas dalam kelompok.
- Ketekunan dalam proses engineering (design–build–test–improve).

C. Asesmen Sumatif

Bagian I — Pilihan Ganda (Skor 10 per soal = 50)

1. Sebuah botol tertutup sebagian oleh air memiliki kolom udara sepanjang 20 cm. Jika cepat rambat bunyi di udara adalah 340 m/s, frekuensi resonansi dasar botol tersebut adalah...

- A. 340 Hz
- B. 425 Hz
- C. 680 Hz
- D. 850 Hz
- E. 1700 Hz

2. Agar frekuensi bunyi yang dihasilkan botol semakin tinggi, maka tinggi kolom udara harus...

- A. Diperbesar dengan menambah air
- B. Diperkecil dengan menambah air
- C. Diperbesar dengan mengurangi air
- D. Tidak berpengaruh terhadap jumlah air
- E. Diperkecil dengan mengurangi air

3. Peristiwa ikut bergetarnya suatu benda karena menerima getaran dari benda lain yang frekuensinya sama disebut...

- A. Interferensi
- B. Refraksi
- C. Resonansi
- D. Difraksi
- E. Polarisasi

4. Dua botol identik A dan B diisi air dengan tinggi kolom udara berturut-turut 10 cm dan 15 cm. Pernyataan yang benar adalah...

- A. Frekuensi botol A lebih rendah daripada botol B
- B. Frekuensi botol A lebih tinggi daripada botol B
- C. Frekuensi botol A sama dengan botol B
- D. Frekuensi tidak dipengaruhi oleh tinggi kolom udara
- E. Kedua botol tidak menghasilkan bunyi

5. Dalam kegiatan proyek Piano Air, kelompok Andi mengukur frekuensi aktual 500 Hz sedangkan frekuensi teoritis yang dihitung adalah 480 Hz. Persentase kesalahan pengukuran tersebut adalah...

- A. 2,5%
- B. 3,3%
- C. 4,0%
- D. 4,2%
- E. 5,0%

Bagian II — Uraian (Skor 10 per soal = 50)

26. Jelaskan mengapa kolom udara pada botol berisi air dapat dianggap sebagai pipa tertutup pada satu ujung! (HOTS)
27. Sebuah kolom udara menghasilkan frekuensi resonansi 425 Hz. Jika cepat rambat bunyi di udara 340 m/s, tentukan panjang kolom udara tersebut! (Analisis matematis)
28. Sebuah kelompok proyek ingin membuat 5 nada (Do, Re, Mi, Fa, Sol) menggunakan botol identik. Urutkan tinggi kolom udara dari yang terpanjang hingga terpendek untuk kelima nada tersebut, dan jelaskan alasannya! (HOTS, berbasis fenomena)

29. Saat pengujian, sebuah botol menghasilkan frekuensi yang lebih rendah dari target. Analisislah dua kemungkinan penyebab dan jelaskan bagaimana cara memperbaikinya! (HOTS)
30. Jelaskan bagaimana prinsip resonansi kolom udara yang kalian pelajari pada Piano Air Sederhana dapat dikaitkan dengan cara kerja alat musik tiup tradisional (misalnya suling)!

Kunci Jawaban dan Pembahasan

Pilihan Ganda

No	Kunci	Pembahasan Singkat	Skor
1	B	$f = v/4L = 340/(4 \times 0,20) = 340/0,8 = 425 \text{ Hz}$	10
2	E	Frekuensi berbanding terbalik dengan L; L diperkecil dengan menambah air.	10
3	C	Definisi resonansi.	10
4	B	L lebih kecil (10 cm) menghasilkan frekuensi lebih tinggi ($f \propto 1/L$).	10
5	D	$\% \text{kesalahan} = 500-480 /480 \times 100\% \approx 4,2\%$	10

Uraian

No	Poin Kunci Jawaban	Skor
1	Permukaan air berperan sebagai penutup/simpul, sedangkan mulut botol terbuka sebagai perut gelombang — sesuai karakteristik pipa tertutup satu ujung.	10
2	$L = v/4f = 340/(4 \times 425) = 340/1700 = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$	10
3	Urutan L terpanjang→terpendek: Do > Re > Mi > Fa > Sol, karena frekuensi nada makin tinggi (Do→Sol) sehingga L makin pendek (f berbanding terbalik dengan L).	10
4	Kemungkinan: (a) kolom udara terlalu panjang (air kurang) → tambah air; (b) cara memukul tidak konsisten/ada gangguan bunyi → ulangi pengukuran dengan teknik konsisten.	10
5	Suling mengatur panjang efektif kolom udara dengan membuka/menutup lubang, sama seperti Piano Air mengatur panjang kolom udara dengan tinggi air — keduanya memanfaatkan resonansi untuk mengubah frekuensi/nada.	10

Total skor maksimum: 100 (Pilihan Ganda 50 + Uraian 50)

14. Rubrik Penilaian STEM (Skala 1–4)

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
Pemahaman konsep Fisika	Tidak dapat menjelaskan konsep resonansi	Menjelaskan sebagian konsep dengan bantuan	Menjelaskan konsep dengan benar secara mandiri	Menjelaskan dan mengaitkan konsep dengan fenomena lain
Eksperimen	Tidak melakukan eksperimen sesuai prosedur	Melakukan eksperimen dengan banyak kesalahan prosedur	Melakukan eksperimen sesuai prosedur dengan sedikit kesalahan	Melakukan eksperimen sistematis dan teliti
Pengukuran	Data tidak lengkap/tidak akurat	Data lengkap namun kurang akurat	Data lengkap dan cukup akurat	Data lengkap, akurat, dan diulang untuk validasi
Analisis data	Tidak mampu menganalisis data	Analisis dangkal, tanpa perbandingan teori	Analisis tepat, membandingkan data dengan teori	Analisis mendalam disertai identifikasi sumber kesalahan
Science	Tidak memahami prinsip resonansi	Memahami sebagian prinsip	Memahami prinsip resonansi dengan baik	Memahami dan dapat memprediksi fenomena baru
Technology	Tidak menggunakan aplikasi pengukur	Menggunakan aplikasi namun kurang tepat	Menggunakan aplikasi dengan tepat	Menggunakan aplikasi secara optimal untuk validasi data
Engineering	Produk tidak selesai/tidak berfungsi	Produk selesai namun banyak nada tidak sesuai	Produk berfungsi, sebagian besar nada sesuai	Produk berfungsi optimal, seluruh nada sesuai target
Mathematics	Tidak menggunakan persamaan resonansi	Menggunakan persamaan namun banyak kesalahan hitung	Menggunakan persamaan dengan benar	Menggunakan persamaan dan grafik untuk prediksi akurat
Kreativitas	Rancangan meniru contoh tanpa modifikasi	Sedikit modifikasi dari contoh	Rancangan cukup orisinal	Rancangan sangat orisinal dan inovatif
Pemecahan masalah	Tidak mampu memperbaiki produk yang gagal	Perbaikan dilakukan namun tidak efektif	Perbaikan dilakukan dan cukup efektif	Perbaikan sistematis dan sangat efektif
Kolaborasi	Bekerja sendiri/dominan satu orang	Pembagian tugas kurang merata	Pembagian tugas cukup merata	Seluruh anggota berkontribusi

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
				aktif dan seimbang
Komunikasi	Presentasi tidak jelas/tidak terstruktur	Presentasi cukup jelas namun kurang terstruktur	Presentasi jelas dan terstruktur	Presentasi jelas, terstruktur, dan komunikatif

15. Rubrik Asesmen Produk/Prototipe

No	Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
1	Kesesuaian produk dengan masalah	Tidak sesuai	Kurang sesuai	Sesuai	Sangat sesuai dan inovatif
2	Ketepatan konsep Fisika	Konsep salah	Konsep kurang tepat	Konsep tepat	Konsep tepat dan dijelaskan mendalam
3	Fungsi produk	Tidak berfungsi	Berfungsi sebagian	Berfungsi baik	Berfungsi optimal
4	Ketepatan pengukuran	Tidak diukur	Pengukuran tidak akurat	Pengukuran cukup akurat	Pengukuran sangat akurat
5	Efisiensi (bahan & waktu)	Sangat boros	Kurang efisien	Cukup efisien	Sangat efisien
6	Kreativitas	Tidak ada kreativitas	Sedikit kreativitas	Cukup kreatif	Sangat kreatif
7	Keamanan	Tidak memperhatikan keselamatan	Kurang memperhatikan keselamatan	Cukup memperhatikan keselamatan	Sangat memperhatikan keselamatan
8	Kualitas rancangan	Rancangan tidak sistematis	Rancangan kurang sistematis	Rancangan sistematis	Rancangan sangat sistematis dan rapi
9	Hasil pengujian	Sebagian besar nada tidak sesuai	Sebagian nada sesuai	Sebagian besar nada sesuai	Seluruh nada sesuai target
10	Perbaikan produk	Tidak ada perbaikan	Perbaikan minim	Perbaikan cukup	Perbaikan signifikan dan efektif

16. Diferensiasi Pembelajaran

Jenis Diferensiasi	Kemampuan Rendah	Kemampuan Sedang	Kemampuan Tinggi
Konten	Diberikan panduan langkah demi langkah dan rumus yang sudah disederhanakan.	Diberikan panduan umum dengan rumus lengkap.	Diberikan tantangan tambahan: menghitung untuk lebih dari 5 nada/oktaf.
Proses	Bekerja dengan pendampingan guru/tutor sebaya secara lebih intensif.	Bekerja mandiri dalam kelompok dengan bimbingan berkala.	Bekerja mandiri, dapat mengeksplorasi variasi bentuk wadah selain botol.
Produk	Cukup menghasilkan 3–4 nada yang berfungsi.	Menghasilkan 5 nada sesuai kriteria minimum.	Menghasilkan tangga nada lengkap (5–8 nada) disertai lagu sederhana.

17. Kegiatan Remedial

- Pemahaman konsep: mengulang penjelasan resonansi menggunakan analogi sederhana (ayunan, pegas) dan demonstrasi ulang.
- Penggunaan persamaan: latihan soal terbimbing menghitung $f = v/4L$ dengan nilai yang disederhanakan.
- Membaca data: berlatih membaca tabel data hasil eksperimen kelompok lain yang sudah lengkap.
- Melakukan perhitungan: pendampingan langkah demi langkah dalam menyelesaikan soal hitungan.
- Interpretasi grafik: berlatih membaca grafik sederhana (hubungan dua variabel) sebelum membuat grafik sendiri.

18. Kegiatan Pengayaan

Bagi peserta didik yang telah mencapai tujuan pembelajaran, diberikan tantangan lanjutan:

- Merancang Piano Air dengan tangga nada lengkap satu oktaf (8 nada) dan memainkan lagu yang lebih kompleks.
- Menyelidiki pengaruh diameter/bentuk botol terhadap frekuensi resonansi, membandingkan dengan botol tinggi kolom udara yang sama namun diameter berbeda.
- Menghitung dan membandingkan pengaruh suhu ruangan terhadap cepat rambat bunyi (v) dan implikasinya terhadap ketepatan nada.

19. Refleksi

Refleksi Peserta Didik

1. Apa konsep Fisika yang saya pahami dari kegiatan ini?
2. Apa hal yang paling menantang selama membuat Piano Air Sederhana?
3. Bagaimana saya menyelesaikan masalah ketika nada yang dihasilkan tidak sesuai target?
4. Apa kesalahan yang saya temukan selama proses eksperimen dan pembuatan produk?
5. Bagaimana saya memperbaiki rancangan setelah pengujian pertama?
6. Apa hubungan pembelajaran ini dengan kehidupan sehari-hari saya?

Refleksi Guru

- Apakah tujuan pembelajaran tercapai secara keseluruhan? Bagian mana yang perlu diperbaiki?
- Apakah alokasi waktu tiap tahap sudah sesuai dengan kondisi kelas?
- Apakah alat dan bahan yang digunakan efektif dan mudah diakses oleh peserta didik?
- Bagaimana tingkat keterlibatan dan antusiasme peserta didik selama proyek berlangsung?
- Apa strategi yang perlu disesuaikan untuk pelaksanaan pada kelas/tahun ajaran berikutnya?

20. Sumber Belajar dan Teknologi

- Buku teks Fisika Kelas XI Kurikulum Merdeka (bab Gelombang Bunyi).
- Aplikasi Phyphox / Spectroid — digunakan untuk mengukur frekuensi bunyi secara langsung sebagai pengganti alat ukur laboratorium yang mahal, memungkinkan validasi data eksperimen secara real-time.
- Simulasi PhET "Sound Waves" (jika akses internet tersedia) — digunakan untuk memvisualisasikan gelombang longitudinal dan resonansi sebelum eksperimen nyata dilakukan.
- Spreadsheet (Excel/Google Sheets) — digunakan untuk mengolah data pengukuran dan membuat grafik hubungan L terhadap f secara otomatis.
- Video pembelajaran tentang alat musik tradisional Gayo dan prinsip resonansi — digunakan sebagai apersepsi untuk mengaitkan materi dengan konteks lokal.

Catatan: seluruh teknologi digunakan secara fungsional dalam proses investigasi (pengukuran, pengolahan data) dan bukan sekadar pelengkap kegiatan.

21. Produk Akhir

Pembelajaran ini menghasilkan:

- Purwarupa alat musik "Piano Air Sederhana" yang dapat menghasilkan minimal 5 nada.
- Laporan hasil eksperimen (tabel data, grafik, dan analisis) pada LKPD.
- Presentasi/"konser mini" hasil proyek di depan kelas.
- Dokumentasi proses rancang-bangun (sketsa desain dan catatan perbaikan).

Lampiran

Lampiran 1 — Contoh Perhitungan Tinggi Kolom Udara untuk Tangga Nada (acuan A4 = 440 Hz, disederhanakan)

Nada	Frekuensi Acuan (Hz)	$L = v/4f$ (cm), $v = 340$ m/s
Do (C4)	262	32,4
Re (D4)	294	28,9
Mi (E4)	330	25,8
Fa (F4)	349	24,4
Sol (G4)	392	21,7

Catatan: nilai di atas adalah acuan teoritis untuk kolom udara tunggal; guru dapat menyesuaikan dengan tinggi botol yang tersedia di sekolah (jika botol lebih pendek dari L teoritis, gunakan rasio antar-nada sebagai acuan relatif, bukan nilai absolut).

Lampiran 2 — Format Lembar Observasi Formatif

Nama Peserta Didik	Keaktifan	Kerja Sama	Ketelitian Pengukuran	Catatan

MODUL AJAR FISIKA

Pendekatan STEM Berorientasi Pembelajaran Mendalam (Deep Learning)

Hukum Archimedes — Proyek "Miniatur Kapal dari Botol Plastik/Plastisin"

1. Identitas Pembelajaran

Komponen	Keterangan
Satuan Pendidikan	SMA Negeri Bener Meriah
Mata Pelajaran	Fisika
Kelas / Fase	XI / Fase F
Semester	Genap *(sesuaikan dengan kalender akademik satuan pendidikan)*
Tahun Pelajaran	2026/2027 *(sesuaikan)*
Materi	Fluida Statis: Hukum Archimedes, Massa Jenis, Gaya Apung, dan Tekanan Hidrostatik
Alokasi Waktu	6 JP (3 pertemuan $\times$ 2 JP $\times$ 45 menit)
Jumlah Peserta Didik	30 peserta didik *(sesuaikan dengan data riil rombel)*
Model Pembelajaran	Project Based Learning (PjBL)
Pendekatan	STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)
Orientasi	Pembelajaran Mendalam (Deep Learning) — Berkesadaran, Bermakna, Menggembirakan
Target Peserta Didik	Peserta didik reguler, termasuk yang berprestasi tinggi dan yang membutuhkan pendampingan tambahan

2. Analisis Materi Fisika (Analisis Awal)

Aspek	Analisis
Konsep Fisika utama	Hukum Archimedes, gaya apung (FA), massa jenis (ρ), tekanan hidrostatik, syarat benda terapung–melayang–tenggelam
Fenomena nyata	Kapal baja yang berat namun dapat mengapung; telur yang tenggelam di air tawar tetapi mengapung di air garam
Permasalahan kontekstual	Bagaimana merancang miniatur kapal dari botol plastik/plastisin agar dapat mengapung stabil dan mengangkat beban maksimum?
Potensi eksperimen	Mengukur gaya apung benda tercelup sebagian/seluruhnya dengan neraca pegas; menentukan massa jenis benda tak beraturan
Unsur Science	Konsep tekanan hidrostatik, hukum Archimedes, massa jenis, dan keseimbangan gaya pada fluida
Unsur Technology	Neraca pegas/digital, gelas ukur, kalkulator, spreadsheet untuk pengolahan data, aplikasi kamera untuk dokumentasi uji coba
Unsur Engineering	Merancang, membangun, menguji, dan menyempurnakan bentuk lambung miniatur kapal agar daya apung dan kestabilan optimal
Unsur Mathematics	Perhitungan volume benda tercelup, massa jenis, gaya apung ($FA = \rho \cdot g \cdot V$), dan analisis grafik beban–kedalaman celup
Produk/prototipe yang dapat dibuat	Miniatur kapal dari botol plastik atau plastisin yang mampu mengapung dan membawa beban (koin/beban uji)

Aspek	Analisis
Keterampilan abad ke-21	Berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, literasi data, dan pemecahan masalah
Potensi HOTS	Menganalisis hubungan bentuk-volume-massa jenis terhadap daya apung; mengevaluasi dan memperbaiki rancangan berdasarkan data pengujian

3. Capaian Pembelajaran dan Tujuan Pembelajaran

A. Capaian Pembelajaran (CP)

Pada akhir Fase F, peserta didik mampu mendeskripsikan gejala fisis fluida statis, menganalisis hukum-hukum yang berlaku pada fluida statis (tekanan hidrostatik, Hukum Pascal, dan Hukum Archimedes), serta menerapkannya untuk menjelaskan dan menyelesaikan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari melalui penyelidikan ilmiah dan perancangan solusi teknologi sederhana. *(Sesuaikan redaksi dengan dokumen CP resmi mata pelajaran Fisika Fase F yang berlaku di satuan pendidikan.)*

B. Tujuan Pembelajaran (TP)

Melalui pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan STEM, peserta didik mampu:

1. Memahami konsep massa jenis, tekanan hidrostatik, dan Hukum Archimedes secara benar;
2. Mengidentifikasi fenomena benda terapung, melayang, dan tenggelam dalam kehidupan sehari-hari;
3. Melakukan pengukuran dan eksperimen gaya apung menggunakan neraca pegas dan gelas ukur;
4. Menganalisis data hasil eksperimen untuk menentukan hubungan antara volume tercelup, massa jenis, dan gaya apung;
5. Menggunakan persamaan Fisika ($F_A = \rho \cdot g \cdot V$) untuk memecahkan masalah kuantitatif;
6. Merancang solusi berupa miniatur kapal yang mampu mengapung dan mengangkat beban;
7. Membuat dan menguji produk (prototipe miniatur kapal) berdasarkan prinsip Hukum Archimedes;
8. Mengomunikasikan hasil rancangan, data pengujian, dan analisis secara lisan maupun tertulis;
9. Melakukan refleksi terhadap proses belajar dan proses rekayasa yang telah dilakukan.

C. Indikator Ketercapaian

- Peserta didik dapat menjelaskan bunyi dan persamaan Hukum Archimedes dengan tepat;
- Peserta didik dapat menghitung gaya apung dan massa jenis benda dari data pengukuran;
- Peserta didik dapat menentukan kondisi terapung, melayang, atau tenggelam suatu benda;
- Peserta didik dapat merancang dan membuat miniatur kapal yang mampu mengapung stabil;
- Peserta didik dapat menyajikan data pengujian dalam bentuk tabel dan grafik serta menarik kesimpulan yang valid;
- Peserta didik dapat mempresentasikan hasil rancangan disertai alasan ilmiah.

4. Kompetensi Awal, Profil Lulusan, dan Sarana Prasarana

A. Kompetensi Awal

Peserta didik telah memahami konsep besaran dan satuan, massa, volume, berat, serta hukum Newton (khususnya kesetimbangan gaya) yang dipelajari pada fase/kelas sebelumnya.

B. Profil Lulusan / Dimensi Profil Pelajar Pancasila

- Bernalar kritis — melalui analisis data eksperimen dan evaluasi rancangan produk;
- Kreatif — melalui perancangan bentuk miniatur kapal yang orisinal;
- Gotong royong — melalui kerja kelompok dalam eksperimen dan proyek;
- Mandiri — melalui pengelolaan proses belajar dan penyelesaian tugas individu.

C. Sarana dan Prasarana

- Ruang kelas/laboratorium IPA dengan area kerja basah untuk uji apung
- Bak air/ember besar/akuarium transparan sebagai wadah pengujian
- Neraca pegas, gelas ukur, jangka sorong/penggaris, timbangan digital (jika tersedia)
- Botol plastik bekas, plastisin, aluminium foil, koin/beban uji, gunting, lem/solasi
- LKPD, alat tulis, kalkulator, proyektor/laptop untuk menayangkan video/simulasi
- Akses PhET Simulation (Buoyancy) bila tersedia jaringan internet/laboratorium komputer

D. Model dan Metode Pembelajaran

Model: Project Based Learning (PjBL) dipadukan dengan tahapan Engineering Design Process.

Metode: Eksperimen, diskusi kelompok, tanya jawab, presentasi, dan penugasan proyek.

5. Prinsip Pembelajaran Mendalam (Deep Learning)

Berkesadaran (Mindful)

Di awal pembelajaran, guru menyampaikan tujuan belajar secara eksplisit dan mengajak peserta didik menuliskan target pribadi yang ingin dicapai. Peserta didik diajak menyadari proses berpikirnya sendiri melalui jurnal belajar singkat setiap akhir pertemuan, sehingga mereka memahami apa yang sudah dipelajari dan apa yang masih perlu diperdalam.

Bermakna (Meaningful)

Konsep Hukum Archimedes dikaitkan langsung dengan pengalaman nyata peserta didik, misalnya kapal nelayan di sekitar Danau Laut Tawar atau perahu yang digunakan warga sekitar Bener Meriah, sehingga peserta didik memahami relevansi Fisika dengan kehidupan dan potensi daerahnya.

Menggembirakan (Joyful)

Pembelajaran dirancang melalui eksperimen langsung, tantangan merancang miniatur kapal, kompetisi ringan antar-kelompok (kapal yang mampu membawa beban terbanyak sebelum tenggelam), serta diskusi dan presentasi yang kolaboratif dan interaktif.

6. Pemahaman Bermakna

- Benda dapat terapung bukan karena ringan, melainkan karena gaya apung yang dihasilkan fluida yang dipindahkannya cukup besar;
- Bentuk dan volume suatu benda memengaruhi kemampuannya untuk mengapung, meskipun massanya besar (prinsip kapal baja);
- Massa jenis rata-rata suatu benda menentukan apakah benda tersebut akan terapung, melayang, atau tenggelam;
- Prinsip Hukum Archimedes digunakan secara luas dalam teknologi, mulai dari kapal laut, kapal selam, hingga alat ukur massa jenis;
- Merancang solusi rekayasa memerlukan proses berulang: merancang, menguji, menganalisis, dan memperbaiki (iteratif).

7. Pertanyaan Pemantik

1. Mengapa kapal laut yang terbuat dari baja dan sangat berat dapat mengapung di permukaan air, sedangkan sebuah paku kecil justru tenggelam?
2. Apa yang terjadi pada ketinggian air dalam gelas saat sebuah batu dimasukkan ke dalamnya? Mengapa demikian?
3. Jika dua benda memiliki massa yang sama tetapi bentuk berbeda, apakah keduanya akan mengapung dengan cara yang sama?
4. Bagaimana cara merancang sebuah miniatur kapal dari plastisin (yang massa jenisnya lebih besar dari air) agar tetap dapat mengapung?
5. Berapa banyak beban maksimum yang dapat ditampung sebuah kapal sebelum akhirnya tenggelam, dan apa yang menentukannya?

8. Integrasi STEM

Komponen STEM	Implementasi pada Pembelajaran Fisika	Aktivitas Konkret
Science	Konsep tekanan hidrostatik, Hukum Archimedes, massa jenis, dan syarat benda terapung/melayang/tenggelam	Eksperimen mengukur gaya apung dengan neraca pegas; diskusi fenomena kapal dan telur dalam air garam
Technology	Penggunaan alat ukur dan aplikasi pengolah data untuk menganalisis hasil eksperimen	Menggunakan neraca pegas/digital, gelas ukur, kalkulator, dan spreadsheet sederhana untuk membuat grafik beban vs kedalaman celup
Engineering	Proses merancang, membangun, menguji, dan memperbaiki miniatur kapal	Merancang bentuk lambung kapal dari botol plastik/plastisin, menguji daya apung, memperbaiki desain berdasarkan hasil uji
Mathematics	Perhitungan volume, massa jenis, gaya apung, dan analisis data/grafik	Menghitung $FA = \rho \cdot g \cdot V$; membuat tabel dan grafik hubungan jumlah beban terhadap kedalaman celup kapal

9. Skenario Masalah Nyata / Kontekstual

Masyarakat di sekitar perairan (danau, sungai, atau pesisir) di Kabupaten Bener Meriah dan sekitarnya memerlukan alat transportasi air yang mampu mengangkut hasil bumi maupun penumpang. Peserta didik ditantang untuk merancang miniatur kapal dari botol plastik bekas atau plastisin yang mampu mengapung secara stabil dan mengangkut beban (koin) sebanyak mungkin sebelum tenggelam, dengan memanfaatkan prinsip Hukum Archimedes, massa jenis, gaya apung, dan tekanan.

Kriteria masalah: berkaitan langsung dengan konsep Fisika, dapat diselidiki melalui eksperimen, memiliki lebih dari satu kemungkinan solusi desain, menghasilkan produk nyata, dan menggunakan alat/bahan sederhana yang mudah diperoleh di lingkungan sekolah.

10. Langkah-Langkah Pembelajaran

Kegiatan disusun dalam 3 pertemuan (@ 2 JP = 90 menit).

Pertemuan 1 (2 JP) — Identify, Define, Explore, Explain

A. Pendahuluan (15 menit)

1. Guru membuka pelajaran dengan salam dan doa;
2. Apersepsi: mengaitkan materi dengan pengalaman peserta didik naik perahu/kapal;
3. Guru menampilkan video/gambar kapal baja yang mengapung dan paku yang tenggelam;
4. Guru mengajukan pertanyaan pemantik nomor 1 dan 2;
5. Guru menyampaikan tujuan pembelajaran dan tantangan proyek miniatur kapal;

B. Kegiatan Inti (65 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Identify	Memandu peserta didik mengamati fenomena benda terapung/tenggelam	Mengidentifikasi fenomena dan merumuskan pertanyaan	Science	Berkesadaran	10'
Define	Membimbing perumusan masalah proyek miniatur kapal	Merumuskan masalah dan informasi yang diperlukan	Engineering	Bermakna	10'
Explore	Memfasilitasi eksperimen gaya apung dengan neraca pegas	Melakukan pengukuran gaya apung benda tercelup sebagian & penuh	Science, Math	Menggembirakan	30'
Explain	Membimbing diskusi hasil eksperimen dan menurunkan persamaan $F_A = \rho \cdot g \cdot V$	Menjelaskan konsep Hukum Archimedes berdasarkan data	Science, Math	Bermakna	15'

C. Penutup (10 menit)

1. Menyimpulkan hasil eksperimen bersama

2. Refleksi singkat
3. Umpan balik guru
4. Informasi rencana pertemuan berikutnya

Pertemuan 2 (2 JP) — Design, Create

A. Pendahuluan (10 menit)

1. Salam dan apersepsi mengulas hasil eksperimen pertemuan sebelumnya
2. Pertanyaan pemantik nomor 3 dan 4
3. Guru menjelaskan kriteria dan batasan proyek miniatur kapal

B. Kegiatan Inti (70 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Design	Membimbing kelompok membuat sketsa rancangan kapal	Merancang sketsa bentuk lambung kapal beserta perkiraan ukuran	Engineering, Math	Berkesadaran	25'
Create	Mendampingi proses pembuatan prototipe	Membuat miniatur kapal dari botol plastik/plastisin sesuai rancangan	Engineering, Technology	Menggembirakan	45'

C. Penutup (10 menit)

1. Kelompok merapikan alat dan bahan
2. Refleksi proses pembuatan
3. Guru menyampaikan agenda uji coba pada pertemuan berikutnya

Pertemuan 3 (2 JP) — Test, Analyze, Improve, Communicate

A. Pendahuluan (10 menit)

1. Salam dan apersepsi
2. Pertanyaan pemantik nomor 5
3. Guru menjelaskan prosedur pengujian dan penilaian

B. Kegiatan Inti (70 menit)

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Test	Memfasilitasi uji apung dan penambahan beban bertahap	Menguji miniatur kapal dan mencatat jumlah beban maksimum sebelum tenggelam	Science, Technology	Menggembirakan	20'
Analyze	Membimbing pengolahan data dan pembuatan grafik	Menganalisis data menggunakan konsep massa jenis dan gaya apung	Math, Science	Bermakna	15'
Improve	Mendampingi perbaikan desain berdasarkan hasil uji	Memperbaiki bentuk/ukuran kapal agar daya apung meningkat	Engineering	Berkesadaran	15'

Tahap	Aktivitas Guru	Aktivitas Peserta Didik	STEM	Deep Learning	Waktu
Communicate	Memfasilitasi presentasi kelompok	Mempresentasikan hasil rancangan, data, dan Kesimpulan	Semua unsur	Menggembirakan	20'

C. Penutup (10 menit)

1. Kesimpulan pembelajaran bersama
2. Pengisian lembar refleksi peserta didik
3. Umpan balik dan penguatan konsep oleh guru
4. Evaluasi (asesmen sumatif)
5. Informasi tindak lanjut (remedial/pengayaan)
6. Penutup dan doa

11. Rancangan Eksperimen Fisika

Tujuan: Menentukan besar gaya apung yang dialami benda saat tercelup sebagian dan seluruhnya dalam air, serta menentukan massa jenis benda.

Rumusan masalah: Bagaimana hubungan antara volume benda yang tercelup dalam fluida dengan besar gaya apung yang dialaminya?

Hipotesis: Semakin besar volume benda yang tercelup dalam fluida, semakin besar pula gaya apung yang dialami benda tersebut.

Variabel bebas: Volume benda yang tercelup dalam air.

Variabel terikat: Besar gaya apung (selisih berat di udara dan berat semu dalam air).

Variabel kontrol: Jenis fluida (air), suhu air, dan benda uji yang digunakan.

Alat dan bahan: Neraca pegas, gelas ukur berisi air, benang, benda uji (batu/beban logam), penggaris.

Keselamatan kerja: Berhati-hati terhadap tumpahan air di lantai, gunakan benda uji yang tidak tajam, dan segera bersihkan area kerja yang basah.

Langkah kerja

1. Timbang berat benda di udara menggunakan neraca pegas dan catat sebagai w_1 ;
2. Celupkan benda sebagian ke dalam air, catat berat semu sebagai w_2 dan volume air yang naik;
3. Celupkan benda seluruhnya ke dalam air, catat berat semu sebagai w_3 dan volume air yang naik;
4. Ulangi langkah untuk benda/volume celup yang berbeda sebanyak 5 kali percobaan;
5. Hitung gaya apung $FA = w(\text{udara}) - w(\text{dalam air})$ untuk setiap percobaan.

Tabel Pengamatan

Percobaan	Berat di udara w_1 (N)	Berat dalam air w_2 (N)	Volume tercelup (mL)	Gaya apung FA (N)
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...

Percobaan	Berat di udara w_1 (N)	Berat dalam air w_2 (N)	Volume tercelup (mL)	Gaya apung F_A (N)
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...
5	...	...	...	...

Pengolahan Data, Grafik, dan Persamaan

Data volume tercelup (sumbu-x) diplot terhadap gaya apung F_A (sumbu-y) untuk memperoleh grafik linear. Kemiringan grafik menggambarkan nilai $\rho \cdot g$ sesuai persamaan Hukum Archimedes:

$F_A = \rho \cdot g \cdot V$, dengan F_A = gaya apung (N), ρ = massa jenis fluida (kg/m^3), g = percepatan gravitasi (m/s^2), V = volume fluida yang dipindahkan (m^3).

Analisis: Peserta didik membandingkan nilai ρ hasil percobaan dengan nilai ρ air standar (1000 kg/m^3) dan mendiskusikan sumber ketidakpastian pengukuran.

Kesimpulan: Peserta didik menuliskan kesimpulan berdasarkan data bahwa gaya apung berbanding lurus dengan volume benda yang tercelup.

12. Engineering Design Process — Proyek Miniatur Kapal

Tahap	Aktivitas Peserta Didik
1. Identify the Problem	Mengidentifikasi kebutuhan alat transportasi air yang mampu mengangkut beban dan tetap mengapung
2. Research	Mempelajari konsep Hukum Archimedes, massa jenis, dan bentuk lambung kapal yang efektif
3. Brainstorm	Mendiskusikan berbagai alternatif bentuk dan ukuran miniatur kapal dalam kelompok
4. Design	Membuat sketsa rancangan lengkap dengan perkiraan ukuran dan bahan yang digunakan
5. Build	Membuat prototipe miniatur kapal dari botol plastik/plastisin sesuai rancangan
6. Test	Menguji daya apung dan menambahkan beban (koin) secara bertahap hingga kapal tenggelam
7. Evaluate	Menganalisis data hasil pengujian dan membandingkan dengan target rancangan
8. Improve	Memperbaiki bentuk, ukuran, atau distribusi beban kapal berdasarkan hasil evaluasi
9. Communicate	Mempresentasikan proses rancangan, data pengujian, dan hasil akhir kepada kelas

13. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis STEM

A. Identitas

Nama :

Kelas :

Kelompok :

Tanggal :

B. Judul Kegiatan

Merancang dan Menguji Miniatur Kapal Berdasarkan Hukum Archimedes

C. Tujuan

Peserta didik mampu menerapkan konsep massa jenis, gaya apung, dan Hukum Archimedes untuk merancang miniatur kapal yang mampu mengapung dan mengangkat beban.

D. Fenomena / Masalah

Kapal baja yang berat dapat mengapung di air, sedangkan plastisin yang padat justru tenggelam. Bagaimana merancang bentuk dari plastisin atau botol plastik agar dapat mengapung dan membawa beban sebanyak mungkin?

E. Pertanyaan Investigasi

1. Bagaimana pengaruh bentuk lambung kapal terhadap volume air yang dipindahkan?
2. Berapa beban maksimum yang dapat ditopang oleh kapal sebelum tenggelam?

F. Hipotesis

Tuliskan dugaan awal kelompok kalian:

G. Alat dan Bahan

- Botol plastik bekas / plastisin
- Gunting, lem/solasi
- Bak/ember berisi air
- Koin atau beban uji
- Penggaris, timbangan

H. Keselamatan Kerja

Gunakan gunting dengan hati-hati, jaga area kerja tetap kering di sekitar alat elektronik, dan segera lap tumpahan air.

I. Langkah Eksperimen

1. Rancang sketsa bentuk kapal
2. Buat prototipe sesuai sketsa
3. Timbang massa kapal kosong

4. Apungkan kapal di air dan tambahkan beban satu per satu
5. Catat jumlah beban maksimum sebelum kapal tenggelam

J. Tabel Data

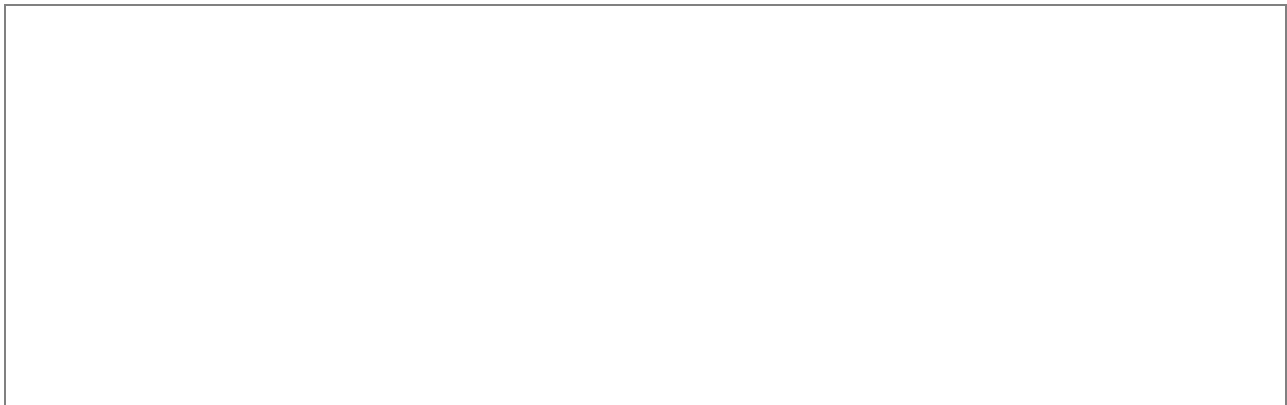
Penambahan Beban ke-	Jumlah Koin	Kedalaman Celup (cm)	Kondisi (Apung/Tenggelam)
1			
2			
3			
4			
5			

K. Perhitungan Fisika

Hitung massa jenis rata-rata kapal ($\rho = m/V$) dan bandingkan dengan massa jenis air. Hitung pula gaya apung maksimum menggunakan $FA = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot V_{\text{tercelup}}$.

L. Grafik

Buat grafik hubungan antara jumlah beban (sumbu-x) dan kedalaman celup kapal (sumbu-y) pada kolom berikut:

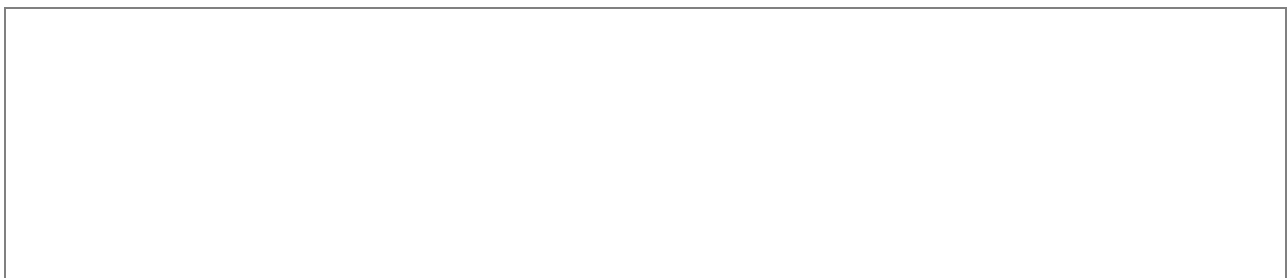


M. Analisis

Jelaskan hubungan antara bentuk kapal, volume tercelup, dan gaya apung berdasarkan data yang diperoleh:

N. Desain Solusi (Sketsa Rancangan)

Gambarkan sketsa rancangan miniatur kapal kalian pada kotak berikut:



O. Pembuatan Prototipe

Catat bahan dan ukuran akhir yang digunakan dalam pembuatan prototipe:

.....

P. Pengujian Prototipe

Catat hasil pengujian (jumlah beban maksimum dan kondisi akhir kapal):

Q. Analisis Hasil Pengujian

Bandingkan hasil pengujian dengan prediksi awal (hipotesis) kelompok kalian:

.....

R. Perbaikan Produk

Jelaskan perbaikan yang dilakukan dan alasannya secara ilmiah:

S. Kesimpulan

Tuliskan kesimpulan akhir kelompok kalian terkait Hukum Archimedes dan proyek miniatur kapal:

.....

T. Refleksi

Apa yang paling menantang dan apa yang kalian pelajari dari proyek ini?

14. Asesmen

A. Asesmen Diagnostik

Diberikan secara lisan/tertulis di awal pembelajaran untuk mengetahui pemahaman awal peserta didik:

1. Menurut kalian, apa yang menyebabkan suatu benda dapat mengapung di air?
2. Apakah benda yang berat pasti tenggelam? Jelaskan pendapat kalian.
3. Apa yang kalian ketahui tentang massa jenis suatu benda?
4. Pernahkah kalian melihat kapal laut yang terbuat dari besi? Mengapa kapal tersebut tidak tenggelam?
5. Apa yang terjadi pada permukaan air ketika sebuah benda dimasukkan ke dalamnya?

B. Asesmen Formatif

Penilaian dilakukan selama proses pembelajaran terhadap aspek-aspek berikut, menggunakan lembar observasi:

- Keaktifan dalam diskusi dan tanya jawab
- Ketepatan pelaksanaan eksperimen gaya apung
- Ketelitian pengukuran (berat, volume)
- Ketepatan analisis data dan grafik
- Kualitas kontribusi dalam diskusi kelompok
- Kerja sama dalam kelompok
- Ketepatan mengikuti tahapan proses engineering

C. Asesmen Sumatif

Soal Pilihan Ganda

1. Sebuah benda bermassa 500 gram dan bervolume 200 cm^3 dicelupkan seluruhnya ke dalam air ($\rho \text{ air} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$). Besar gaya apung yang dialami benda adalah ...
A. 1 N B. 2 N C. 3 N D. 4 N E. 5 N
2. Sebuah benda akan melayang di dalam fluida apabila ...
A. massa jenis benda lebih besar dari massa jenis fluida
B. massa jenis benda sama dengan massa jenis fluida
C. massa jenis benda lebih kecil dari massa jenis fluida
D. berat benda lebih besar dari gaya apung
E. volume benda lebih besar dari volume fluida
3. Kapal laut yang terbuat dari baja dapat mengapung di air laut karena ...
A. massa kapal sangat kecil
B. bentuk kapal membuat volume air yang dipindahkan besar sehingga gaya apung mampu menahan berat kapal
C. baja memiliki massa jenis lebih kecil dari air
D. kapal tidak memiliki berat
E. air laut tidak memiliki massa jenis

4. Sebuah balok tercelup sebagian dalam air dengan volume tercelup $4 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Jika massa jenis air 1000 kg/m^3 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, gaya apung yang dialami balok tersebut adalah
A. 0,4 N B. 4 N C. 40 N D. 400 N E. 4000 N
5. Perhatikan pernyataan berikut: benda akan tenggelam jika
A. massa jenis benda < massa jenis fluida
B. massa jenis benda = massa jenis fluida
C. massa jenis benda > massa jenis fluida
D. volume benda = 0
E. berat benda = 0

Kunci Jawaban dan Pembahasan Pilihan Ganda (skor 10 per soal, total 50)

- 1) B — $FA = \rho \cdot g \cdot V = 1000 \times 10 \times 0,0002 \text{ m}^3 = 2 \text{ N}$
- 2) B — benda melayang ketika massa jenis benda sama dengan massa jenis fluida
- 3) B — bentuk lambung kapal memperbesar volume air yang dipindahkan sehingga gaya apung menyeimbangkan berat kapal
- 4) C — $FA = 1000 \times 10 \times 4 \times 10^{-4} = 4 \text{ N}$ *(catatan: sesuaikan pilihan agar sesuai hasil hitung; nilai benar adalah 4 N)*
- 5) C — benda tenggelam ketika massa jenis benda lebih besar dari massa jenis fluida

Soal Uraian (HOTS ditandai *)

1. Jelaskan bunyi Hukum Archimedes dan tuliskan persamaannya! (skor 10)
2. * Sebuah kapal memiliki massa 2.000 kg. Jika massa jenis air laut 1025 kg/m^3 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan volume minimum kapal yang harus tercelup agar kapal dapat mengapung! (skor 15)
3. * Dua benda memiliki massa sama tetapi bentuk berbeda dimasukkan ke dalam air; satu mengapung dan satu tenggelam. Jelaskan mengapa hal ini dapat terjadi berdasarkan konsep massa jenis dan volume! (skor 15)
4. Sebutkan dan jelaskan tiga contoh penerapan Hukum Archimedes dalam kehidupan sehari-hari atau teknologi! (skor 10)
5. * Berdasarkan data hasil proyek miniatur kapal kelompok kalian, jelaskan hubungan antara bentuk kapal, volume tercelup, dan jumlah beban maksimum yang dapat diangkut, serta usulkan satu perbaikan desain yang dapat meningkatkan daya angkut kapal! (skor 10)

Kunci dan Pembahasan Singkat Soal Uraian

- 1) Hukum Archimedes: gaya apung yang dialami benda yang tercelup sebagian/seluruhnya dalam fluida sama dengan berat fluida yang dipindahkan; $FA = \rho \cdot g \cdot V$.
- 2) $FA = w \text{ kapal} \rightarrow \rho \cdot g \cdot V = m \cdot g \rightarrow V = m/\rho = 2000/1025 \approx 1,95 \text{ m}^3$.
- 3) Benda yang tenggelam memiliki massa jenis rata-rata (massa/volume total termasuk rongga) lebih besar daripada air, sedangkan benda yang mengapung memiliki bentuk yang memperbesar volume sehingga massa jenis rata-ratanya lebih kecil dari air.
- 4) Contoh: kapal laut, kapal selam (mengatur ballast), hidrometer, jembatan ponton, pelampung/rompi keselamatan.
- 5) Jawaban terbuka, dinilai berdasarkan kesesuaian dengan data hasil proyek dan ketepatan alasan ilmiah yang diberikan peserta didik.

15. Rubrik Penilaian STEM (Skala 1–4)

Aspek	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
Pemahaman konsep Fisika	Belum memahami konsep	Memahami sebagian konsep	Memahami konsep dengan cukup baik	Memahami konsep secara menyeluruh dan tepat
Eksperimen	Tidak mengikuti prosedur	Mengikuti sebagian prosedur	Mengikuti prosedur dengan bimbingan	Mengikuti prosedur secara mandiri dan tepat
Pengukuran	Pengukuran tidak akurat	Pengukuran kurang akurat	Pengukuran cukup akurat	Pengukuran akurat dan teliti
Analisis data	Tidak dapat menganalisis data	Analisis data kurang tepat	Analisis data cukup tepat	Analisis data tepat dan mendalam
Science	Tidak menerapkan konsep sains	Menerapkan sebagian konsep sains	Menerapkan konsep sains dengan cukup tepat	Menerapkan konsep sains secara tepat dan konsisten
Technology	Tidak menggunakan alat/teknologi	Menggunakan alat dengan bimbingan penuh	Menggunakan alat dengan sedikit bimbingan	Menggunakan alat/teknologi secara mandiri dan tepat
Engineering	Tidak mengikuti proses rekayasa	Mengikuti sebagian tahap rekayasa	Mengikuti hampir seluruh tahap rekayasa	Mengikuti seluruh tahap rekayasa secara sistematis
Mathematics	Tidak dapat menghitung	Perhitungan banyak kesalahan	Perhitungan sebagian besar tepat	Perhitungan tepat dan sistematis
Kreativitas	Rancangan meniru sepenuhnya	Rancangan sedikit modifikasi	Rancangan cukup orisinal	Rancangan sangat orisinal dan inovatif
Pemecahan masalah	Tidak mampu mengatasi kendala	Mengatasi kendala dengan bantuan penuh	Mengatasi kendala dengan sedikit bantuan	Mengatasi kendala secara mandiri dan efektif
Kolaborasi	Tidak berkontribusi dalam kelompok	Berkontribusi minim	Berkontribusi cukup aktif	Berkontribusi aktif dan mendukung anggota lain
Komunikasi	Tidak mampu menyampaikan hasil	Penyampaian kurang jelas	Penyampaian cukup jelas	Penyampaian jelas, runtut, dan meyakinkan

16. Rubrik Penilaian Produk / Prototipe Miniatur Kapal

No	Aspek Penilaian	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
1	Kesesuaian produk dengan masalah	Tidak sesuai	Kurang sesuai	Cukup sesuai	Sangat sesuai

No	Aspek Penilaian	Skor 1	Skor 2	Skor 3	Skor 4
2	Ketepatan konsep Fisika	Tidak tepat	Kurang tepat	Cukup tepat	Sangat tepat
3	Fungsi produk (mampu mengapung)	Tidak berfungsi	Berfungsi sebagian	Berfungsi cukup baik	Berfungsi sangat baik
4	Ketepatan pengukuran	Tidak akurat	Kurang akurat	Cukup akurat	Sangat akurat
5	Efisiensi (bahan & waktu)	Tidak efisien	Kurang efisien	Cukup efisien	Sangat efisien
6	Kreativitas rancangan	Tidak kreatif	Kurang kreatif	Cukup kreatif	Sangat kreatif
7	Keamanan proses pembuatan	Tidak memperhatikan keselamatan	Kurang memperhatikan	Cukup memperhatikan	Sangat memperhatikan keselamatan
8	Kualitas rancangan/sketsa	Tidak lengkap	Kurang lengkap	Cukup lengkap	Sangat lengkap dan rapi
9	Hasil pengujian (daya angkut beban)	Sangat rendah	Rendah	Cukup tinggi	Tinggi
10	Perbaikan produk berdasarkan evaluasi	Tidak ada perbaikan	Perbaikan minim	Perbaikan cukup signifikan	Perbaikan signifikan dan efektif

17. Diferensiasi Pembelajaran

Jenis Diferensiasi	Kemampuan Rendah	Kemampuan Sedang	Kemampuan Tinggi
Konten	Diberikan penjelasan konsep dasar disertai contoh visual sederhana	Diberikan materi standar sesuai LKPD	Diberikan materi pengayaan (kapal selam, hidrometer)
Proses	Pendampingan lebih intensif dan langkah kerja lebih terstruktur	Bekerja mandiri dalam kelompok sesuai LKPD	Diberi keleluasaan bereksplorasi dengan variasi desain tambahan
Produk	Membuat miniatur kapal dengan bentuk sederhana yang telah dicontohkan	Membuat miniatur kapal sesuai rancangan kelompok	Membuat miniatur kapal dengan optimasi daya angkut dan laporan analisis mendalam

18. Kegiatan Remedial

Diberikan kepada peserta didik yang belum mencapai kriteria ketuntasan, dengan fokus pada:

- Penguatan pemahaman konsep massa jenis dan gaya apung melalui bimbingan individu/kelompok kecil;
- Latihan ulang penggunaan persamaan $FA = \rho \cdot g \cdot V$ dengan soal-soal sederhana;
- Latihan membaca data hasil eksperimen dari tabel yang sudah disediakan guru;
- Latihan menghitung volume dan massa jenis benda beraturan sebelum benda tak beraturan;
- Latihan interpretasi grafik sederhana dengan pendampingan guru atau tutor sebaya.

19. Kegiatan Pengayaan

Diberikan kepada peserta didik yang telah mencapai tujuan pembelajaran, berupa tantangan lanjutan:

- Merancang miniatur kapal selam sederhana yang dapat mengapung dan tenggelam terkendali (menggunakan prinsip ballast);
- Menganalisis pengaruh bentuk lambung (persegi, setengah lingkaran, segitiga) terhadap efisiensi daya apung secara kuantitatif;
- Meneliti dan mempresentasikan penerapan Hukum Archimedes pada hidrometer atau kapal tanker modern.

20. Refleksi

A. Refleksi Peserta Didik

1. Apa konsep Fisika yang saya pahami dari pembelajaran ini?
2. Apa hal yang paling menantang bagi saya?
3. Bagaimana cara saya menyelesaikan masalah yang saya temui?
4. Apa kesalahan yang saya temukan selama eksperimen atau pembuatan produk?
5. Bagaimana saya memperbaiki rancangan miniatur kapal saya?
6. Apa hubungan pembelajaran ini dengan kehidupan sehari-hari saya?

B. Refleksi Guru

- Apakah tujuan pembelajaran tercapai secara keseluruhan?
- Bagian mana dari pembelajaran yang berjalan efektif dan bagian mana yang perlu diperbaiki?
- Apakah alokasi waktu 6 JP mencukupi untuk seluruh tahapan proyek?
- Apakah diferensiasi yang diberikan sudah sesuai dengan kebutuhan peserta didik?

21. Sumber Belajar dan Teknologi

- Buku Fisika SMA Kelas XI (Kurikulum Merdeka) — sebagai rujukan konsep dan latihan soal;
- PhET Simulation "Buoyancy" — digunakan untuk memvisualisasikan gaya apung pada berbagai bentuk dan massa jenis benda secara interaktif sebelum eksperimen nyata;
- Spreadsheet/Excel — digunakan peserta didik untuk mengolah data hasil pengujian menjadi tabel dan grafik hubungan beban–kedalaman celup;
- Video pembelajaran tentang prinsip kerja kapal laut dan kapal selam — digunakan pada apersepsi untuk memantik rasa ingin tahu;
- Kamera smartphone — digunakan untuk mendokumentasikan proses pembuatan dan pengujian prototipe sebagai bahan presentasi;

- Kalkulator — digunakan untuk menghitung gaya apung dan massa jenis secara cepat dan akurat.

Setiap teknologi digunakan secara fungsional dalam proses investigasi, bukan sekadar pelengkap.

22. Produk Akhir Pembelajaran

- Prototipe miniatur kapal dari botol plastik/plastisin yang mampu mengapung dan mengangkut beban;
- Laporan hasil eksperimen gaya apung dan LKPD yang telah diisi lengkap;
- Grafik hubungan beban dan kedalaman celup kapal;
- Presentasi kelompok mengenai proses rancangan, data, dan kesimpulan.

23. Lampiran

Lampiran modul ajar ini meliputi:

- (1) LKPD Berbasis STEM (Bagian 13);
- (2) Rubrik Penilaian STEM (Bagian 15);
- (3) Rubrik Penilaian Produk/Prototipe (Bagian 16);
- (4) Kisi-kisi dan kunci jawaban asesmen sumatif (Bagian 14).

Guru dapat menggandakan LKPD sesuai jumlah kelompok yang direncanakan.

Catatan: Bagian yang ditandai tanda kurung siku atau tanda bintang (*) merupakan asumsi yang perlu disesuaikan oleh guru dengan kondisi riil satuan pendidikan, jumlah peserta didik, dan kalender akademik yang berlaku.