

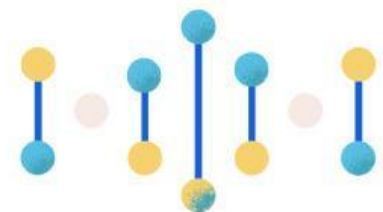
E-LKPD

TERMODINAMIKA



Nama Kelompok:

kelas :



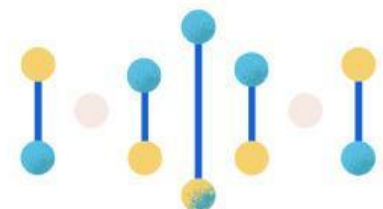


Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya penyusunan E-LKPD Digital Interaktif berbasis Problem Based Learning (PBL)- STEM pada materi Termodinamika untuk kelas XI SMA dengan Memahami konsep

Melalui kegiatan yang terstruktur, peserta didik diharapkan mampu berpikir kritis, menganalisis fenomena sehari-hari, serta menyelesaikan permasalahan terkait fluida statis. Penyusunan E-LKPD ini juga memanfaatkan teknologi digital guna mendukung pembelajaran yang lebih efektif dan menarik.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan. Semoga E-LKPD ini bermanfaat dalam meningkatkan kualitas pembelajaran fisik





Daftar Isi

KATA PENGANTAR

I

DAFTAR ISI

II

PETUNJUK
PENGUNAAN

III

HALAMAN UTAMA

IV

DAFTAR PUSTAKA

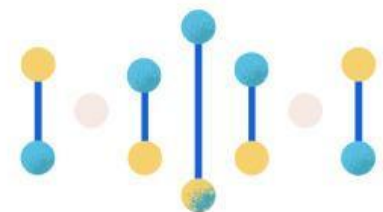
V



PETUNJUK PENGUNAAN

Petunjuk untuk Guru

- Pastikan tautan atau QR code AnyFlip sudah dapat diakses siswa sebelum kelas dimulai
- Uji aplikasi Phyphox pada perangkat demonstrasi dan pastikan sensor Camera Brightness berfungsi
- Siapkan satu alat peraga botol bertekanan sebagai contoh demonstrasi awal
- Bagi siswa menjadi kelompok kecil (3–4 orang), pastikan tiap kelompok memiliki minimal satu smartphone
- Sajikan pertanyaan pemantik di awal untuk memancing rasa ingin tahu siswa tentang fenomena awan
- Bimbing siswa saat perakitan alat, terutama pada proses penyegelan pentil dengan lem tembak
- Pantau progres pengisian E-LKPD secara asinkron melalui platform AnyFlip
- Berikan umpan balik konstruktif saat siswa mempresentasikan hasil analisis grafik Phyphox
- Gunakan rubrik penilaian yang mencakup aspek proses, data, analisis, dan presentasi

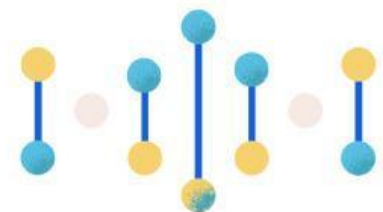


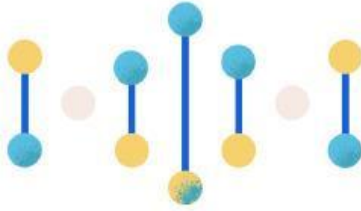


PETUNJUK PENGUNAAN

Petunjuk untuk Siswa

- Baca setiap halaman E-LKPD dengan seksama sebelum memulai kegiatan
- Unduh aplikasi Phyphox di smartphone kamu, buka menu Camera Brightness
- Siapkan alat dan bahan: botol soda 1,5 L, pentil ban, pompa manual, alkohol 70%, dan lem tembak
- Ikuti video tutorial perakitan alat yang tersedia di halaman E-LKPD
- Lakukan eksperimen sesuai prosedur pompa botol, lalu buka tutup dengan cepat
- Amati awan yang terbentuk dan rekam grafik Luminance menggunakan Phyphox
- Isi tabel data dan kolom analisis yang tersedia di E-LKPD secara jujur dan teliti
- Diskusikan hasil eksperimen bersama kelompokmu sebelum menjawab pertanyaan
- Tanyakan kepada guru jika ada langkah yang kurang dipahami





E-LKPD

Materi: Hukum-Hukum Termodinamika (Hukum I Termodinamika Proses Adiabatik)
Pertemuan 4 : 4JP (4 × 45 menit)

PENGANTAR

Energi merupakan kebutuhan utama manusia baik untuk kelangsungan hidup maupun untuk menjalankan kehidupan sehari-hari. Kualitas dan kuantitas energi dinyatakan dalam Hukum I dan II Termodinamika. Dalam E-LKPD ini, kalian akan mengeksplorasi prinsip-prinsip termodinamika melalui eksperimen Digital Cloud in a Bottle untuk memahami proses adiabatik secara langsung.

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Peserta didik mampu menerapkan teori kinetik gas untuk menganalisis sifat-sifat gas, menganalisis proses-proses termodinamika, serta menerapkan Hukum I dan Hukum II Termodinamika dalam penyelesaian masalah kehidupan sehari-hari.

DIMENSI PROFIL LULUSAN

Bernalar Kritis
Mandiri
Gotong Royong

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah menyelesaikan E-LKPD ini, peserta didik diharapkan dapat:

1. Menganalisis proses adiabatik yang terjadi dalam sistem termodinamika
2. Menerapkan Hukum I Termodinamika dalam menganalisis data eksperimen Cloud-in-a-Bottle
3. Menginterpretasikan grafik Luminance dari Phyphox sebagai bukti empiris proses adiabatik

KERANGKA PEMBELAJARAN

Praktik Pedagogis

- Model pembelajaran: Problem Based Learning (PBL)
- Pendekatan: STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)
- Metode: Eksperimen hands-on, diskusi kelompok, presentasi
- Sintaks: Orientasi masalah → Organisasi → Penyelidikan → Pengembangan karya → Evaluasi

Lingkungan Pembelajaran

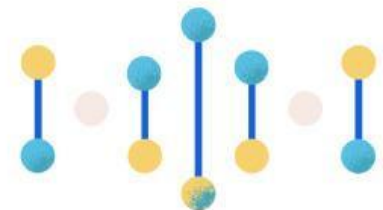
- Ruang kelas dengan meja kelompok
- Laboratorium sederhana (dapat dilakukan di kelas)
- Akses internet untuk membuka E-LKPD via AnyFlip
- Pencahayaan ruangan yang stabil untuk mendukung sensor Phyphox

Kemitraan Pembelajaran

- Guru sebagai fasilitator dan pembimbing
- Siswa bekerja dalam kelompok kecil (3-4 orang)
- Orang tua/wali mendukung kesiapan alat sederhana dari rumah
- Kolaborasi antar kelompok dalam sesi presentasi dan evaluasi

Pemanfaatan Digital

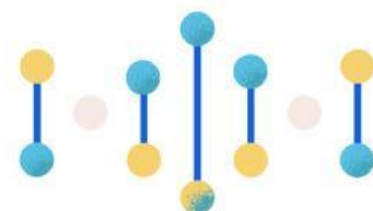
- E-LKPD interaktif berbasis Web AnyFlip
- Aplikasi Phyphox sebagai sensor Camera Brightness
- Smartphone sebagai alat perekam data real-time
- QR code untuk akses cepat E-LKPD tanpa ketik tautan





DASAR TEORI

Konsep	Penjelasan Ringkas
Proses Adiabatik	Proses yang berlangsung tanpa pertukaran kalor dengan lingkungan ($Q = 0$). Ini terjadi ketika perubahan berlangsung sangat cepat sehingga kalor tidak sempat berpindah.
Hukum I Termodinamika	$\Delta U = Q - W$ Ketika $Q = 0$ (adiabatik): $\Delta U = -W$ Artinya: gas melakukan usaha dengan mengambil energi dari dirinya sendiri \rightarrow suhu turun.
Cara Kerja Phyphox	Kamera smartphone digunakan sebagai sensor cahaya digital. Menu Brightness merekam intensitas cahaya (Luminance/Lux) secara real-time. Ketika awan terbentuk, partikel awan menghalangi cahaya \rightarrow nilai Lux turun \rightarrow grafik terjun bebas.
Awan Buatan	Ketika suhu turun drastis akibat ekspansi adiabatik, uap alkohol/air di dalam botol tidak punya cukup energi untuk tetap berbentuk gas \rightarrow mengembun menjadi butiran awan putih yang terlihat dengan mata.





MEMAHAMI MASALAH

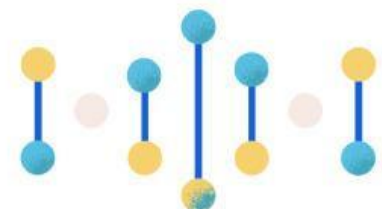


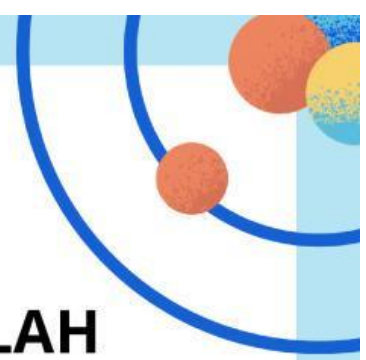
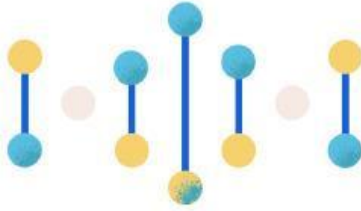
Bayangkan kamu adalah seorang peneliti muda yang mendapat tugas dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) untuk membuktikan bahwa awan di atmosfer bumi terbentuk karena proses adiabatik. Kamu tidak memiliki alat laboratorium mahal — hanya sebuah botol plastik, pompa sepeda, dan smartphone dengan Phyphox. Dapatkan kamu membuktikannya?

Masalah Utama: "Apakah ekspansi gas yang berlangsung sangat cepat di dalam botol benar-benar merupakan proses adiabatik yang dapat dibuktikan secara kuantitatif melalui data sensor Phyphox? Bagaimana kamu membuktikannya?"

MENGAPLIKASIKAN (MELAKUKAN PERCOBAAN)

ALAT	BAHAN
<ul style="list-style-type: none">✓ Smartphone (kamera belakang aktif)✓ Aplikasi Phyphox — menu Brightness✓ Senter LED (intensitas konstan)✓ Pompa sepeda mini✓ Lakban hitam & dudukan karton✓ Penggaris	<ul style="list-style-type: none">✓ Botol PET transparan 1,5 L✓ Tutup termodifikasi (pentil + lem tembak)✓ Alkohol isopropil 70% (2–3 tetes)✓ Air hangat (alternatif jika tidak ada alkohol)✓ Alat tulis





TAHAP MEMECAHKAN MASALAH MENGUNAKAN ALAT

TAHAP 1: MERANCANG RUMUSAN MASALAH DAN HIPOTESIS

Pertanyaan 1 Rumusan Masalah

Berdasarkan skenario masalah BMKG di atas, tuliskan Rumusan Masalah eksperimenmu! Gunakan kalimat tanya yang jelas menyebutkan variabel bebas (apa yang kamu ubah) dan variabel terikat (apa yang kamu ukur dengan Phyphox).

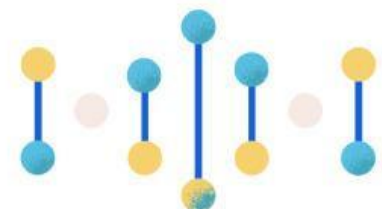
Petunjuk: Variabel bebas = cara melepas tutup botol | Variabel terikat = data Luminance di Phyphox

Pertanyaan 2 Hipotesis

Sebelum menggunakan alat, prediksi apa yang akan terjadi pada grafik Phyphox ketika tutup botol dilepas mendadak vs perlahan. Jelaskan alasan ilmiahmu berdasarkan konsep proses adiabatik!

Saat mendadak: grafik Phyphox akan karena

Saat perlahan: grafik Phyphox akan karena





TAHAP II : MENYIAPKAN ALAT & MENGGALIBRASI PHYPHOX

1 Siapkan Botol Bertekanan

Teteskan 2–3 tetes alkohol isopropil ke dalam botol. Pasang tutup termodifikasi dengan rapat. Uji kebocoran: celupkan tutup ke air sambil memompa 3 kali — tidak boleh ada gelembung udara keluar.

2 Pasang Senter & Smartphone

Letakkan botol di antara senter dan smartphone. Arahkan senter menembus botol tepat ke arah kamera belakang smartphone. Gunakan lakban atau dudukan karton agar posisi tidak bergeser selama eksperimen.

3 Aktifkan Phyphox & Kalibrasi

Buka Phyphox → pilih Brightness → tekan Play (▶). Amati grafik Luminance. Atur posisi senter/smartphone hingga grafik menunjukkan garis horizontal yang stabil. Tunggu minimal 5 detik untuk memastikan baseline stabil.

4 Pompa Udara

Pompa udara melalui pentil sebanyak 5–7 kali menggunakan pompa sepeda. Hitung dengan cermat. Amati apakah grafik Phyphox berubah saat memompa — catat pengamatanmu.

Pertanyaan 3 Pengamatan Persiapan

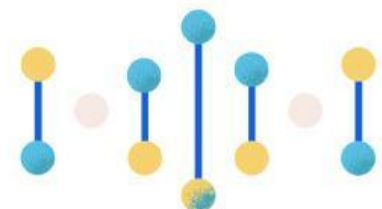
Setelah menyiapkan alat dan sebelum melepas tutup, catat kondisi baseline-mu:

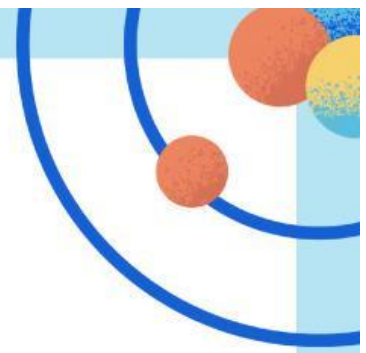
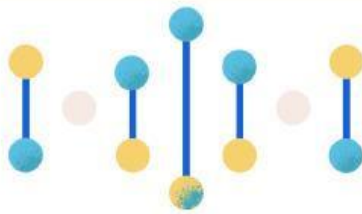
Nilai Luminance awal (baseline) yang stabil: Lux

Apakah grafik sudah benar-benar horizontal/stabil? (Ya / Tidak / Belum stabil):

Berapa kali kamu memompa? kali

Adakah perubahan grafik saat memompa? Jelaskan:





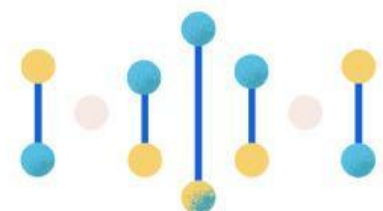
TAHAP III : MELALUKAN EKSPERIMEN & MENGUMPULKAN DATA

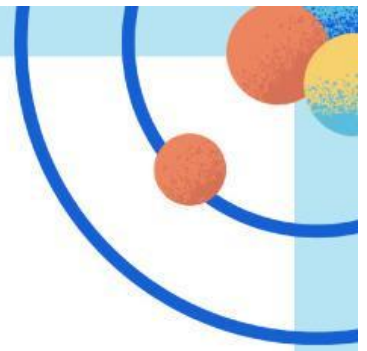
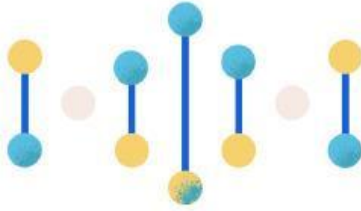
Percobaan 1 : Tutup di lepas mendadak (Proses Adiabatik)

Langkah	Yang Harus Kamu Lakukan	✓
1	Pastikan Phyphox masih Play dan grafik baseline stabil	<input type="checkbox"/>
2	Seorang anggota siap di tutup botol, anggota lain amati layar Phyphox	<input type="checkbox"/>
3	Lepaskan tutup botol secara MENDADAK dan CEPAT	<input type="checkbox"/>
4	AMATI: apakah awan putih terbentuk di dalam botol? Berapa lama?	<input type="checkbox"/>
5	AMATI: apa yang terjadi pada grafik Phyphox secara bersamaan?	<input type="checkbox"/>
6	Screenshot grafik Phyphox SEGERA sebelum data hilang	<input type="checkbox"/>
7	Tekan Stop di Phyphox, catat nilai Luminance minimum dari grafik	<input type="checkbox"/>

Data Hasil Percobaan 1:

Parameter Pengamatan	Hasil yang Kamu Catat	Sumber Data
Awan terbentuk di dalam botol?	Ya / Tidak / Tidak jelas	Pengamatan visual langsung
Lama awan terlihat (detik)	..... detik	Pengamatan visual + stopwatch
Nilai Luminance sebelum sentakan (baseline)	..... Lux	Grafik Phyphox
Nilai Luminance minimum (saat awan terbentuk)	..... Lux	Grafik Phyphox
Penurunan Luminance (selisih)	..... Lux	Perhitungan dari grafik
Persentase penurunan Luminance	..... %	Perhitungan manual
Bentuk grafik Phyphox	Turun tajam / Turun lambat / Stabil	Grafik Phyphox



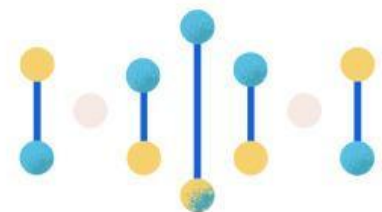


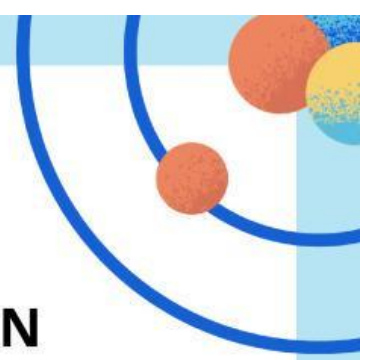
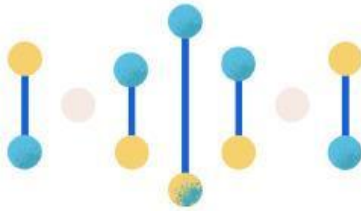
TAHAP III : MELALUKAN EKSPERIMEN & MENGUMPULKAN DATA

Percobaan II : Tutup di lepas perlahan (Pembanding Non Adiabatik)

Parameter Pengamatan	Hasil Percobaan 2	Perbandingan dengan P1
Awan terbentuk?	Ya / Tidak	Sama / Berbeda
Nilai Luminance minimum	..... Lux	..... lebih tinggi/rendah
Pemurunan Luminance	..... Lux	..... lebih besar/kecil
Bentuk grafik Phyphox	Turun tajam / Turun lambat / Stabil	Sama / Berbeda

Screenshot atau gambarkan Grafik Phyphox Percobaan I dan II





ANALISIS DATA & PEMECAHAN MASALAH

Pertanyaan 4 Interpretasi Grafik Phyphox

Berdasarkan screenshot grafik Phyphox Percobaan 1-mu, jelaskan secara detail apa yang terjadi pada nilai Luminance (Lux)! Sebutkan: (a) nilai baseline, (b) nilai minimum, (c) kapan penurunan terjadi, dan (d) apa artinya secara fisika.

Tuliskan: Nilai baseline = Lux | Nilai minimum = Lux | Penurunan = Lux (.....%)

Pertanyaan 5 Membuktikan Proses Adiabatik

Gunakan 3 bukti dari data eksperimenmu (bukan dari buku) untuk membuktikan bahwa Percobaan 1 adalah proses ADIABATIK. Bandingkan dengan Percobaan 2 sebagai kontrol!

Bukti 1 (dari grafik Phyphox):

Bukti 2 (dari pengamatan visual awan):

Bukti 3 (dari perbandingan P1 vs P2):

Pertanyaan 6 Penerapan Hukum I Termodinamika

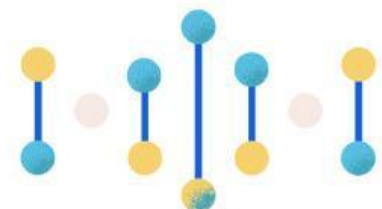
Gunakan datamu untuk melengkapi pembuktian matematis Hukum I Termodinamika:

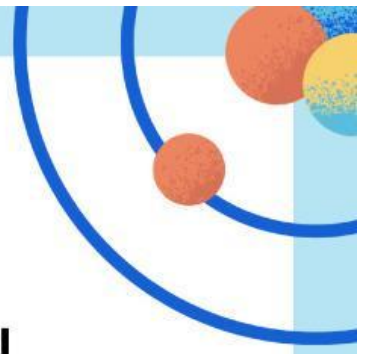
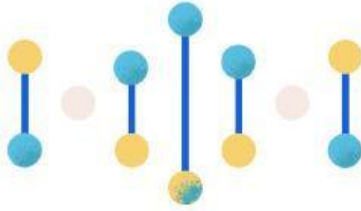
Pada Percobaan 1: $Q = \dots\dots\dots$ (karena prosesnya

Maka persamaan $\Delta U = Q - W$ menjadi: $\Delta U = \dots\dots\dots$

Karena $\Delta U \dots\dots\dots$ (positif/negatif), maka suhu sistem

Hal ini terbukti dari grafik Phyphox yang menunjukkan:





ANALISIS DATA & PEMECAHAN MASALAH

Pertanyaan 7 Menjelaskan Perbedaan P1 vs P2

Kamu memperoleh hasil yang berbeda antara Percobaan 1 (mendadak) dan Percobaan 2 (perlahan). Jelaskan mengapa kecepatan pelepasan tutup sangat menentukan apakah proses tergolong adiabatik atau tidak. Gunakan data perbandingan dari tabelmu!

Pertanyaan 8 Menghubungkan dengan Fenomena Alam

Bagaimana eksperimen botolmu membantu membuktikan teori pembentukan awan di atmosfer bumi? Sebutkan persamaan dan perbedaan antara awan dalam botolmu dengan awan nyata di langit.

Persamaan:

Perbedaan:

