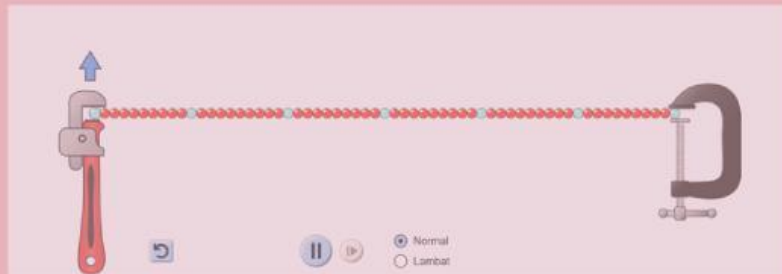


Lembar Kerja Peserta Didik
Untuk SMA/MA

LKPD 2

Waves on a String



Disusun oleh: Siti Zazkiah Jamil

LKPD FISIKA BERBASIS PHET SIMULATION

Waves on a String

Gelombang Transversal pada Tali

IDENTITAS MURID

Komponen	Keterangan
Mata Pelajaran	Fisika
Kelas / Fase	XI SMA / Fase F
Materi Pokok	Gelombang
Simulasi	PhET Interactive Simulations — <i>Wave on a String</i> (https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-on-a-string)
Alokasi Waktu	2 x 45 menit
Model Pembelajaran	Discovery Learning berbasis laboratorium virtual (virtual lab)

Nama :

Kelas :

Kelompok :

Anggota Kelompok: 1.

2.

3.

Tanggal :

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah melaksanakan kegiatan pada LKPD ini, murid diharapkan mampu:

1. Mengidentifikasi karakteristik gelombang transversal pada tali serta pengaruh amplitudo dan peredaman (damping) terhadap gelombang.
2. Mengukur cepat rambat gelombang secara langsung menggunakan metode pulsa tunggal ($v = \text{jarak/waktu}$) pada berbagai tegangan tali.
3. Menentukan panjang gelombang (λ) dan periode (T) gelombang, serta memverifikasi kesesuaian tiga cara perhitungan cepat rambat gelombang: $v = \lambda f$, $v = \lambda/T$, dan $v = \text{jarak/waktu tempuh pulsa}$.
4. Menyelidiki pengaruh tegangan tali dan frekuensi sumber getar terhadap panjang gelombang, serta membandingkan pola kedua hubungan tersebut.
5. Menyelidiki proses pemantulan gelombang dan pembentukan gelombang stasioner pada ujung tali tetap (Fixed End) dan ujung bebas (Loose End).
6. Menyajikan data hasil percobaan dalam bentuk tabel dan grafik, serta menganalisisnya secara ilmiah.
7. Menarik kesimpulan berdasarkan data hasil percobaan virtual yang telah dilakukan.

A. Fenomena

Amati fenomena berikut sebelum memulai percobaan: Seorang anak menggetarkan salah satu ujung tali skipping yang panjang. Ia memperhatikan bahwa gelombang yang merambat semakin lama semakin mengecil amplitudonya, terutama jika talinya basah (lebih banyak gesekan dengan udara). Ia juga menyadari bahwa ketika tali ditarik lebih kencang, gelombang tampak merambat lebih cepat sampai ke ujung yang satu lagi.

Pertanyaan Prediksi (jawab sebelum melakukan percobaan):

1. Menurut prediksimu, apa penyebab amplitudo gelombang semakin mengecil seiring jaraknya dari sumber getar? Adakah kaitannya dengan energi gelombang?
2. Menurut prediksimu, jika tegangan tali diperbesar sementara frekuensi sumber tetap sama, apa yang akan terjadi pada panjang gelombang? Bandingkan dengan pengaruh menaikkan frekuensi terhadap panjang gelombang (pada tegangan tetap) apakah polanya akan sama atau berbeda?

Jawaban:

.....

.....

.....

B. Dasar Teori dan Rumus

Gelombang tali adalah gelombang mekanik transversal, yaitu gelombang yang arah getar partikelnya tegak lurus terhadap arah rambatnya. Besaran-besaran gelombang yang akan diukur pada LKPD ini:

Besaran	Simbol	Satuan	Definisi
Panjang gelombang	λ	meter (m)	Jarak antara dua puncak (atau dua lembah) yang berurutan
Periode	T	sekon (s)	Waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang penuh
Frekuensi	f	hertz (Hz)	Banyaknya gelombang yang terbentuk tiap satu satuan waktu
Cepat rambat	v	m/s	Jarak yang ditempuh gelombang tiap satuan waktu
Amplitudo	A	meter (m)	Simpangan maksimum tali dari posisi setimbang

Rumus-rumus penting:

$$v = \lambda \times f \qquad v = \frac{\lambda}{T} \qquad v = \frac{s}{t}$$

Cara ketiga ($v = s/t$, dengan s = jarak tempuh dan t = waktu tempuh) adalah metode kinematik langsung: cepat rambat gelombang dihitung dari jarak yang ditempuh satu pulsa gelombang dibagi waktu tempuhnya, tanpa perlu mengetahui λ maupun T terlebih dahulu. Metode ini paling mudah dipahami karena mirip dengan menghitung kecepatan benda bergerak biasa ($v = \text{jarak/waktu}$).

Cepat rambat gelombang pada tali juga dapat dihitung dari sifat fisis tali itu sendiri, yaitu gaya tegangan tali (F) dan massa per satuan panjang tali (μ):

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Rumus ini menunjukkan bahwa semakin besar tegangan tali, semakin besar pula cepat rambat gelombangnya, namun perlu diperhatikan bahwa hubungan ini bukan berbanding lurus sederhana, melainkan melalui akar kuadrat. Redaman (damping) adalah berkurangnya amplitudo gelombang seiring jarak/waktu akibat kehilangan energi (misalnya karena gesekan udara atau internal tali). Semakin besar redaman, semakin cepat gelombang “mati” sebelum mencapai ujung tali.

C. Alat dan Bahan

1. Laptop/komputer/gawai yang terhubung internet
2. Simulasi PhET Wave on a String
3. Alat ukur virtual bawaan simulasi: penggaris (ruler) dan stopwatch
4. Alat Tulis, Kalkulator, dan LKPD ini

D. Variabel Percobaan

Tabel 1. Identifikasi Variabel Percobaan

Kegiatan	Variabel Bebas	Variabel Terikat	Variabel Kontrol
Kegiatan 1	Amplitudo dan tingkat damping	Karakteristik gelombang yang teramati	Frekuensi dan tegangan tali
Kegiatan 2	Tegangan tali	Waktu tempuh pulsa pada jarak tetap	Jarak tempuh (s), mode Pulse, damping = none
Kegiatan 3	Posisi puncak dan waktu satu getaran penuh	Panjang gelombang (λ) dan periode (T)	Frekuensi dan tegangan tali (dibuat tetap saat diukur)
Kegiatan 4	Frekuensi (bagian A) dan tegangan tali (bagian B)	Panjang gelombang (λ) yang terbentuk	Variabel yang tidak sedang diuji dibuat tetap
Kegiatan 5	Jenis ujung tali (Fixed End/Loose End)	Pola pemantulan dan pembentukan gelombang stasioner	Frekuensi, amplitudo, dan tegangan tali

E. Prosedur dan Kegiatan Percobaan

Kegiatan 1: Karakteristik Gelombang, Pengaruh Amplitudo, dan Peredaman (Damping)

1. Buka simulasi PhET Wave on a String, pilih mode Oscillate, End = No End, Damping = None.
2. Aktifkan sumber getar, amati arah getar tali (naik-turun) dibandingkan arah rambat gelombang (mendatar).
3. Naikkan nilai amplitudo secara bertahap, amati apakah panjang gelombang dan frekuensi ikut berubah atau tidak.
4. Ubah pengaturan Damping menjadi Lots (tinggi), biarkan gelombang merambat beberapa saat, amati perubahan amplitudo gelombang seiring jaraknya dari sumber.
5. Catat hasil pengamatanmu pada tabel berikut.

Tabel 2. Pengaruh Amplitudo, dan Peredaman (Damping)

Pengaturan yang Diubah	Pengaruh yang Teramati
Amplitudo diperbesar	
Damping diatur ke Lots	

Pertanyaan:

1. Apakah mengubah amplitudo memengaruhi panjang gelombang atau frekuensi gelombang? Jelaskan!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Mengapa amplitudo gelombang semakin mengecil seiring jaraknya dari sumber ketika damping diaktifkan? Kaitkan jawabanmu dengan konsep energi gelombang!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kegiatan 2: Mengukur Cepat Rambat Gelombang secara langsung dengan Metode Pulsa Tunggal

1. Ubah mode simulasi menjadi Pulse, End = No End, Damping = None.
2. Atur tegangan tali (tension) pada level Rendah (Low).
3. Gunakan penggaris virtual untuk menandai dua titik acuan di sepanjang lintasan tali, yaitu titik A (dekat sumber) dan titik B (lebih jauh dari sumber). Catat jarak AB.
4. Klik tombol pulsa untuk mengirim satu pulsa gelombang, lalu gunakan stopwatch untuk mengukur waktu yang dibutuhkan pulsa tersebut merambat dari titik A ke titik B.
5. Hitung cepat rambat gelombang secara langsung: $v = \text{jarak AB} / \text{waktu tempuh}$.
6. Ulangi langkah 2-5 untuk tegangan Sedang (Medium) dan Tinggi (High), dengan jarak AB yang sama.

Tabel 3. Cepat Rambat Gelombang dengan Metode Pulsa Tunggal

Tegangan Tali	Jarak AB, s (m)	Waktu Tempuh, t (s)	v langsung = s/t (m/s)
Rendah (Low)			
Sedang (Medium)			
Tinggi (High)			

Pertanyaan:

1. Bagaimana pengaruh tegangan tali terhadap waktu tempuh pulsa, pada jarak AB yang sama?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Berdasarkan data ini, bagaimana hubungan antara tegangan tali dan cepat rambat gelombang?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kegiatan 3: Menentukan Periode (T) dan Frekuensi (f)

1. Kembali ke mode Oscillate. Pilih salah satu tegangan tali yang telah kamu gunakan pada Kegiatan 2 (misalnya Sedang), lalu atur frekuensi sumber pada nilai tertentu. Catat kedua nilai ini.
2. Ambil penggaris (ruler), ukur panjang gelombang (λ) dengan mengukur jarak dua puncak berurutan. Ulangi 3 kali pada pasangan puncak berbeda.
3. Ambil stopwatch, ukur periode (T) dengan mengamati satu titik tali dari puncak kembali ke puncak berikutnya. Ulangi 3 kali.
4. Hitung rata-rata λ dan T, lalu hitung $f = 1/T$, $v_1 = \lambda \times f$, dan $v_2 = \lambda/T$.

Tabel 4. Menentukan Periode (T) dan Frekuensi (f)

Percobaan ke-	Panjang Gelombang λ (cm)	Waktu Mulai (s)	Waktu Selesai (s)	Periode T (s)
1				
2				
3				
Rata-rata				

Perhitungan:

$$f_{ukur} = \frac{1}{T_{rata-rata}} = \dots\dots\dots \quad v_1 = \lambda \times f = \dots\dots\dots \quad v_2 = \frac{\lambda}{T} = \dots\dots\dots$$

Pertanyaan:

1. Bandingkan nilai v_1 dan v_2 pada kegiatan ini dengan nilai v langsung (metode pulsa) pada tegangan yang sama dari Kegiatan 2. Apakah ketiganya menghasilkan nilai yang mendekati sama?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kegiatan 4: Pengaruh Frekuensi dan Tegangan Tali terhadap Panjang Gelombang

Bagian A – Variasi Frekuensi (tegangan tali dibuat tetap):

1. Pilih satu nilai tegangan tali, jangan diubah selama Bagian A berlangsung.
2. Atur frekuensi sumber pada 5 nilai berbeda, ukur panjang gelombang (λ) untuk masing-masing menggunakan penggaris.

Tabel 5. Pengaruh Frekuensi terhadap Panjang Gelombang

Percobaan ke-	Frekuensi f (Hz)	Panjang Gelombang λ (cm)
1		
2		
3		
4		
5		

Bagian B – Variasi Tegangan Tali (frekuensi dibuat tetap):

1. Pilih satu nilai frekuensi, jangan diubah selama Bagian B berlangsung.
2. Atur tegangan tali pada 3 level (Rendah, Sedang, Tinggi), ukur panjang gelombang (λ) untuk masing-masing.

Tabel 6. Pengaruh Tegangan Tali terhadap Panjang Gelombang

Tegangan Tali	Panjang Gelombang λ (cm)
Rendah (Low)	
Sedang (Medium)	
Tinggi (High)	

Pertanyaan:

1. Berdasarkan Bagian A, bagaimana pola hubungan antara frekuensi dan panjang gelombang? (Berbanding lurus / berbanding terbalik / tidak ada hubungan)

.....

.....

.....

.....

.....

2. Berdasarkan Bagian B, bagaimana pola hubungan antara tegangan tali dan panjang gelombang? (Berbanding lurus / berbanding terbalik / tidak ada hubungan)

.....

.....

.....

.....

.....

3. Bandingkan kedua pola hubungan di atas, apakah keduanya menghasilkan jenis hubungan yang sama? Bandingkan juga dengan prediksi awalmu pada bagian D nomor 2!

.....

.....

.....

.....

.....

Kegiatan 5: Pemantulan Gelombang dan Gelombang Stasioner

1. Gunakan mode Oscillate dengan frekuensi dan tegangan tetap. Ubah pengaturan ujung tali menjadi Fixed End (ujung terikat tetap).
2. Amati apa yang terjadi ketika gelombang datang bertemu dengan gelombang pantul dari ujung tersebut setelah beberapa saat.
3. Amati posisi titik-titik yang selalu diam (simpul) dan titik-titik yang bergetar maksimum (perut) yang terbentuk.
4. Ubah pengaturan ujung tali menjadi Loose End (ujung bebas), amati perbedaan pola pemantulannya dibandingkan Fixed End.

Tabel 7. Pemantulan Gelombang dan Gelombang Stasioner

Jenis Ujung Tali	Pola Gelombang Pantul yang Teramati
Fixed End	
Loose End	

Pertanyaan:

1. Apa yang terjadi pada tali dengan ujung Fixed End setelah beberapa saat gelombang terus dipantulkan? Kaitkan jawabanmu dengan konsep gelombang stasioner, simpul, dan perut!

.....

.....

.....

.....

2. Apa perbedaan pola pemantulan pada Fixed End dibandingkan Loose End?

.....

.....

.....

.....

F. Pengolahan Data

Lengkapi tabel 8 berikut menggunakan data dari Kegiatan 2 dan Kegiatan 3 (gunakan tegangan tali yang sama untuk keduanya):

Besaran	Nilai Hasil Percobaan
Panjang gelombang (λ) rata-rata	 cm = m
Periode (T) rata-rata	 s
Frekuensi (f) hasil pengukuran	 Hz
v langsung (metode pulsa, Kegiatan 2)	 m/s
$v1 = \lambda \times f$	 m/s
$v2 = \lambda / T$	 m/s

G. Teknik Analisis Data

Analisis data pada LKPD ini dilakukan melalui empat cara:

1. Analisis kuantitatif langsung, menghitung λ , T, f, dan v dari data pengukuran, lalu dibandingkan dengan nilai yang tertera pada pengaturan simulasi.
2. Analisis komparatif tiga metode, membandingkan hasil perhitungan v dari tiga cara berbeda ($v = \lambda f$, $v = \lambda/T$, dan $v = s/t$ metode pulsa) untuk menguji konsistensi antar metode.
3. Analisis grafik ganda, membuat grafik hubungan f- λ dan grafik hubungan tegangan- λ , kemudian membandingkan bentuk kedua grafik tersebut.
4. Analisis komparatif dua variabel, membandingkan bagaimana dua variabel berbeda (frekuensi dan tegangan tali) sama-sama memengaruhi panjang gelombang, namun dengan pola hubungan yang berbeda arah.

H. Verifikasi Tiga Cara Perhitungan Cepat Rambat Gelombang

Tabel 9. Verifikasi Tiga Cara Perhitungan

Metode	Rumus	Hasil (m/s)
Metode 1	$v1 = \lambda \times f$	
Metode 2	$v2 = \lambda / T$	
Metode 3 (langsung)	$v = s/t$ (pulsa, Kegiatan 2)	
Selisih terbesar antar metode		
Persentase selisih terbesar (%)		

$$\text{Persentase selisih} = \frac{|v_{maks} - v_{min}|}{v_{maks}} \times 100\%$$

Pertanyaan:

1. Apakah ketiga metode menghasilkan nilai v yang sama atau saling mendekati? Metode manakah yang menurutmu paling akurat, dan mana yang paling rentan kesalahan pengukuran? Jelaskan alasanmu!

2. Apa kesimpulanmu mengenai hubungan antara ketiga rumus/metode perhitungan cepat rambat gelombang ini?

.....

.....

.....

.....

I. Tabel Rekapitulasi Eksperimen

Tabel 10. Rekapitulasi Eksperimen

No.	Tegangan Tali	Frekuensi f (Hz)	Panjang Gelombang λ (m)	Periode T (s)	$v1 = \lambda f$ (m/s)	v langsung (m/s)
1						
2						
3						

J. Grafik

Buatlah dua grafik berikut:

Grafik 1: hubungan antara frekuensi (f) pada sumbu-X dan panjang gelombang (λ) pada sumbu-Y, berdasarkan data Kegiatan 4 Bagian A.

Grafik 2: hubungan antara tegangan tali pada sumbu-X dan panjang gelombang (λ) pada sumbu-Y, berdasarkan data Kegiatan 4 Bagian B.

Petunjuk membuat grafik:

1. Gunakan kertas grafik atau aplikasi pengolah data (Excel/Google Sheets/tulis manual).
2. Plot setiap titik data dari tabel yang bersesuaian untuk masing-masing grafik.
3. Hubungkan titik-titik tersebut dan amati bentuk kurva yang terbentuk pada kedua grafik.

Pertanyaan Analisis Grafik:

1. Berbentuk apakah Grafik 1? Berbentuk apakah Grafik 2? Jelaskan perbedaan arah hubungan yang ditunjukkan oleh kedua grafik tersebut!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

K. Soal Perhitungan

Kerjakan soal-soal berikut berdasarkan konsep yang telah kamu pelajari melalui per cobaan:

1. Sebuah pulsa gelombang menempuh jarak 1,2 m dalam waktu 0,3 sekon. Berapakah cepat rambat gelombang tersebut?

Jawaban:

2. Sebuah gelombang tali memiliki frekuensi 2 Hz dan panjang gelombang 0,5 m. Berapakah cepat rambat gelombang tersebut?

Jawaban:

3. Sebuah gelombang memiliki periode 0,2 sekon dan panjang gelombang 60 cm. Tentukan cepat rambat gelombang tersebut!

Jawaban:

4. Sebuah tali memiliki massa per satuan panjang 0,02 kg/m ditekangkan dengan gaya 8 N. Hitunglah cepat rambat gelombang pada tali tersebut menggunakan rumus $v = \sqrt{F/\mu}$!

Jawaban:

5. Berdasarkan hasil Kegiatan 4, jika tegangan tali dinaikkan menjadi empat kali lipat sementara frekuensi sumber tidak berubah, prediksikan apa yang akan terjadi pada panjang gelombang! (Petunjuk: v sebanding dengan akar F , sedangkan $v = \lambda f$)

Jawaban;

L. Analisis Hubungan Frekuensi dan Panjang Gelombang

Jawablah pertanyaan analisis berikut secara mendalam berdasarkan seluruh data yang telah kamu kumpulkan:

1. Berdasarkan Kegiatan 4 Bagian A, jelaskan hubungan matematis antara frekuensi (f) dan panjang gelombang (λ) ketika tegangan tali dijaga konstan!

.....

.....

.....

.....

2. Berdasarkan Kegiatan 4 Bagian B, jelaskan hubungan antara tegangan tali dan panjang gelombang ketika frekuensi dijaga konstan. Mengapa arah hubungannya berbeda dengan hubungan f dan λ pada nomor 1?

3. Jika kamu ingin memperbesar panjang gelombang pada tali, sebutkan dua cara berbeda yang bisa dilakukan berdasarkan hasil percobaanmu (satu cara terkait frekuensi, satu cara terkait tegangan)!

M. Kesimpulan dan Refleksi Diri

Kesimpulan:

Berdasarkan seluruh kegiatan percobaan yang telah dilakukan, tuliskan kesimpulanmu mengenai:

1. Karakteristik gelombang transversal serta pengaruh amplitudo dan damping:

2. Konsistensi tiga metode perhitungan cepat rambat gelombang (v_1 , v_2 , dan metode pulsa):

3. Perbedaan arah hubungan frekuensi- λ dibandingkan tegangan- λ :

.....

.....

.....

.....

.

4. Proses terbentuknya gelombang stasioner pada ujung tetap:

.....

.....

.....

.....

Refleksi Diri:

1. Bagian kegiatan manakah yang menurutmu paling mudah dilakukan? Mengapa?

.....

.....

.....

2. Bagian kegiatan manakah yang menurutmu paling menantang? Apa kendala yang kamu hadapi dan bagaimana kamu mengatasinya?

.....

.....

.....

3. Bagaimana tingkat pemahamanmu terhadap konsep besaran-besaran gelombang setelah melakukan percobaan ini dibandingkan sebelum melakukan percobaan? (skala 1–5)

.....

.....

.....

N. Daftar Pustaka

- Giancoli, D. C. (2014). Physics: Principles with Applications (7th ed.). Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). Fundamentals of Physics (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Kanginan, M. (2016). Fisika untuk SMA/MA Kelas XI. Jakarta: Erlangga.
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2021). Buku Peserta Didik Fisika Kelas XI. Jakarta: Pusat Kurikulum dan Perbukuan.
- PhET Interactive Simulations. (n.d.). Wave on a String [Simulasi interaktif]. University of Colorado Boulder. Diakses dari <https://phet.colorado.edu/en/simulations/waveon-a-string>