Pembelajaran Gelombang, Bunyi, dan Cahaya Berbantuan Office Suite dan Penjelajah Internet

Sparisoma Viridi¹, Tati Kristianti², Jam'ah Halid¹,
Lintang Ratri Prastika⁴

¹Prodi Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

²OpenLab Salman ITB

Jalan Ganesha 7, Bandung 40132, Indonesia

³Lembaga Pengembangan Pendidikan Salman ITB
Jalan Ganesha 7, Bandung 40132, Indonesia

⁴SEAMEO QITEP in Science

Jalan Diponegoro 12, Bandung 40115, Indonesia

¹dudung@gmail.com, ²jhalidwae@gmail.com,

³kristianti007@yahoo.com, ⁴lintang.r.prastika@gmail.com

DOI: 10.17605/OSF.IO/MHXVC

Generasi saat ini, yang telah sejak kecil berinteraksi dengan komputer dan internet, tidak serta-merta handal dalam mencari informasi terutama apabila terkait materi pembelajaran sehingga para peserta ajar masih perlu diarahkan (Viridi *et al.*, 2017a). Dan dalam rangka untuk mempersiapkan generasi Z yang unik tersebut, selain dengan menggunakan eksperimen (Viridi *et al.*, 2017b), para pengajar perlu pula dibekali kemampuan untuk membuat bahan pembelajaran yang berbasis bahasa dari generasi tersebut, yaitu sesuatu yang terkait dengan piranti lunak dan internet. Untuk para pengajar yang sudah agak berumur perlu diperhatikan hambatan yang mungkin dapat ditemui (Gatto & Tak, 2008), apabila dibandingkan dengan yang berumur lebih muda. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa computer dan internet dapat pula memiliki dampak negatif yang tidak diinginkan, seperti adanya indikasi kecanduan apabila digunakan secara berlebihan (Griffiths, 2000).

Penggunaan komputer dalam pembelajaran fisika telah lama dilakukan, akan tetapi harus benar-benar ditelaah dengan baik karena dapat menghasilkan efek positif atau tidak sama sekali (Redish, 1993). Dengan demikian piranti lunak yang fleksibel dan dapat diatur sesuai keinginan adalah yang tepat, karena pengajar dapat merangkainya dengan kebutuhan pembelajaran, minat pengajar, dan pendekatan pedagogi yang sesuai (Esquembre, 2002). Terlepas dari pendekatan yang digunakan dalam pembelajaran, baik menggunakan komputer ataupun tidak, fisika sayangnya merupakan bidang yang membuat peserta ajar tidak termotivasi (Valiati & Heineck, 2002). Namun demikian, animo untuk memanfaatkan komputer untuk pembelajaran fisika meningkat, terutama karena dapat mengakomodasi eksperimen virtual yang aman dan murah dalam mengajarkan suatu konsep, sampai-sampai satu nomor terbitan suatu jurnal terkemuka telah didedikasikan

untuk tulisan-tulisan terkait hal ini, yang menggambarkan bagaimana 'e-science' menjadi suatu alat baru yang kuat dan amat berperan penting dalam pembelajaran sains (Botet & Trizac, 2005).

Dalam pembelajaran gelombang, bunyi, dan cahaya yang dibahas di sini suatu office suite yang umumnya terdiri dari program pengolah kata, spreadsheet, dan presentasi (Wikipedia, 2017a), e.g. Microsoft Office dan suatu penjelajah internet (Wikipedia, 2017b), e.g. Google Chrome akan digunakan. Untuk yang kedua, fitur untuk menjalankan JavaScript (JS) yang dibutuhkan. JS dapat dikatakan merupakan bahasa pemrograman web yang digunakan dalam mayoritas situs web dan penjelajah internet moderen, sehingga komputer, konsol game, tablet, dan smart phone mengikutsertakan JS (Flanagan, 2011). Dengan demikian tidak lagi perlu proses instalasi piranti lunak pemrograman khusus apabila hendak menjalankan JS, sejauh telah ada suatu penjelajah internet (yang umumnya telah terinstal) dalam komputer yang digunakan. Dan untuk suatu office suite umumnya juga telah ada. Dengan demikian dua piranti lunak yang digunakan umumnya telah tersedia pada komputer. Microsoft Excel sebagai suatu spreadsheet merupakan contoh piranti lunak yang telah banyak dimanfaatkan sebagai media pembelajaran, misalnya materi kinematika (Nuroso & Arifin, 2011) dan gelombang (Nafis, 2015), sedangkan untuk JS, yang masih kurang favorit, telah pula digunakan untuk materi e-learning mekanika (Leonop & Suhendra, 2011).

Gelombang merupakan perambatan energi, dengan energi yang dimaksud adalah getaran. Dengan demikian agar dapat muncul gelombang perlu terdapat getaran sebagai sumber gelombang. Terdapat banyak getaran di sekeliling kita seperti membran yang bergetar (pada bedug) merupakan sumber gelombang bunyi, senar yang diketuk (atau dipetik) pada suatu posisinya merupakan sumber bagi perambatan gelombang pada tali (senar), kaki yang digerak-gerakkan dalam air saat seseorang duduk di pinggir kolam renang merupakan sumber bagi perambatan gelombang pada air, dan lain-lainnya. Sumber bunyi, untuk saat ini, dibatasi yang hanya disebabkan oleh gerak harmonis sederhana (GHS), sehingga kinematikanya dapat dinyatakan oleh (Takács & Rohal'-Ilkiv, 2012)

$$q(t) = A_q \sin(\omega t + \phi_0) \quad (1)$$

dengan amplitudo q_A , frekuensi angular ω , dan fasa awal ϕ_0 , serta q adalah suatu besaran fisis tertentu, seperti contohnya simpangan y pada gelombang tali, tinggi permukaan air h pada gelombang air, dan perbedaan tekanan udara Δp pada gelombang bunyi. Besaran yang dilambangkan oleh q tersebut merupakan besaran yang berubah-ubah nilainya dengan waktu t mengikuti Persamaan (1). Saat q yang berada pada posisi x berubah, umumnya gangguan tersebut dirambatkan pada medium di sebelahnnya pada posisi $x + dx$

sehingga q pada tempat tersebut juga berubah. Demikian seterusnya sehingga pada sembarang tempat x dapat dituliskan kinematika dari q dalam bentuk

$$q(x, t) = A_q \sin(\omega t + \phi_0 - kx) \quad (2)$$

yang dikenal sebagai fungsi gelombang (Cresser, 2005). Persamaan (1) tidak lain menggambarkan sumber dari Persamaan (2) yang terletak pada $x = 0$. Dalam Persamaan (2) terdapat bilangan gelombang k , yang bersama-sama dengan panjang gelombang λ , frekuensi f , periode T , dan laju rambat gelombang v memiliki hubungan-hubungan

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (4)$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f. \quad (5)$$

Periode T menggambarkan keberulangan dalam domain temporal (waktu) sedangkan λ menggambarkan keberulangan dalam domain spasial (ruang).

Gambar 1. Gerak gelombang $q_A = 1$, $T = 4$ s, $\lambda = 1$ m, $\phi_0 = \pi$ untuk waktu-waktu $t = 0, 1, 2$, dan 3 dengan menggunakan Persamaan (2).

Dengan menggunakan Microsoft Excel dapat dibuat Gambar 1 yang menunjukkan perambatan gelombang ke arah kanan ($x+$), yang letak sel-selnya disajikan dalam Gambar 2.

INDIRECT							
	A	B	C	D	E	F	G
1	A _q ()	1					
2	T (s)	4	f (Hz)	0.25	ω (rad/s)	1.5708	
3	λ (m)	1			k (rad/m)	6.28319	
4	t (s)	3					
5							dx (m)
6	ϕ_0 (rad)	3.14159					0.1
7							
8	x (m)	q ()					
9	0	=3*A9					
10	0.1	0.80902					
11	0.2	0.30902					
12	0.3	-0.309					
13	0.4	-0.809					
14	0.5	-1					

Gambar 2. Tata letak sel-sel Excel untuk menggambarkan perambatan gelombang.

Antara sel-sel A1 sampai F3 hubungannya diberikan oleh Persamaan (3)-(5), sedangkan penerapan Persamaan (2) terdapat pada sel B9 sampai B39. Perhatikan bahwa saat $t = 4$ s (tidak disajikan) gelombang akan memberikan hasil seperti saat $t = 0$ s dikarenakan periodenya adalah $T = 4$. Ingat bahwa untuk sembarang getaran atau gelombang berlaku bahwa

$$q(x, t + T) = q(x, t) \quad (6)$$

dan

$$q(x + \lambda, t) = q(x, t). \quad (7)$$

Berkas spreadsheet dalam Gambar 2 dapat diunduh dari <https://osf.io/3btsm/>.

Soal 1. Coba modifikasi spreadsheet dalam Gambar 2 sehingga dapat menggambarkan gelombang yang merambat ke kiri ($x-$) dengan terlebih dahulu memperhatikan sel B9 dan sel-sel yang terkait, lalu mengubahnya.

Salah satu jenis gelombang yang menarik untuk dibahas adalah gelombang stasioner atau gelombang berdiri, yang merupakan hasil superposisi dari gelombang yang merambat ke kanan dan ke kiri atau secara sederhananya bila gelombang yang merambat ke kanan adalah

$$q_+(x, t) = A_q \sin(\omega t + \phi_0 - kx) \quad (8)$$

dan gelombang yang merambat ke kiri adalah

$$q_-(x, t) = A_q \sin(\omega t + \phi_0 + kx), \quad (9)$$

maka gelombang stasioner yang dapat dibentuk keduanya adalah

$$q_s(x, t) = q_+(x, t) + q_-(x, t), \quad (10)$$

yang akan memberikan hasil

$$q_s(x, t) = 2A_q \sin(\omega t + \phi_0) \cos(kx). \quad (11)$$

Soal 2. Tunjukkan bahwa Persamaan (11) memang dapat diperoleh dari Persamaan (10). Dan bila Persamaan (8) dan (9) yang merupakan fungsi gelombang, adalah solusi dari persamaan gelombang, tunjukkan bahwa Persamaan (11) juga merupakan solusi dari persamaan gelombang.

Persamaan (8) dan (9) merupakan fungsi gelombang yang merupakan solusi dari persamaan gelombang

$$\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = 0 \quad (12)$$

dan demikian pula dengan Persamaan (11).

Gambar 3. Gelombang stasioner dengan nilai-nilai parameter gelombang yang merambat ke kanan dan ke kiri sama seperti dalam Gambar 1.

Gambar 4. Bentuk gelombang stasioner saat suatu tali digetarkan (Patel, 2014).

Umumnya pemahaman peserta ajar mengenai bentuk gelombang stasioner adalah seperti dalam Gambar 4

yang terjadi karena gerak tali yang cukup cepat sehingga mata manusia tidak dapat mengikutinya. Peristiwa yang sebenarnya terjadi adalah seperti dalam Gambar 3. Sebagai catatan, dalam Gambar 3 posisi node bukan berada pada ujung-ujung karena syarat batas belum diterapkan, sedangkan pada Gambar 4 syarat batas telah digunakan.

INDIRECT								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Aq (l)	1						
2	T (s)	4	f (Hz)	0.25	ω (rad/s)	1.5708		
3	λ (m)	1			k (rad/m)	6.28319		
4	t (s)	1						
5							dx (m)	0.1
6	φ0 (rad)	3.14159						
7								
8	x (m)	q+ (l)	q- (l)	qs (l)				
9	0	-1	-1	=B9+C9				
10	0.1	-0.809	-0.809	-1.618				
11	0.2	-0.309	-0.309	-0.618				
12	0.3	0.30902	0.30902	0.61803				
13	0.4	0.80902	0.80902	1.61803				
14	0.5	1	1	2				

Gambar 5. Tata letak sel-sel yang menghasilkan Gambar 3.

Isi sel B9 adalah sama seperti dalam Gambar 2, yaitu $=\$B\$1*\text{SIN}(\$F\$2*\$B\$4+\$B\$6-\$F\$3*\$A9)$ yang bersumber dari Persamaan (8), sedangkan isi sel C9 adalah $=\$B\$1*\text{SIN}(\$F\$2*\$B\$4+\$B\$6+\$F\$3*\$A9)$, yang menggambarkan Persamaan (9). Keduanya berbeda pada tanda sebelum $\$F\3 . Selanjutnya sel D9 merepresentasikan Persamaan (10), yang secara numerik akan sama dengan Persamaan (11).

Soal 3. Jelaskan bagaimana hubungan antar amplitudo gelombang stasioner yang terbentuk dengan amplitudo masing-masing gelombang pembentuknya yang bersuperposisi. Lihatlah sumbu vertikal dari Gambar 1 dan 3.

Selanjutnya apabila berbicara mengenai bunyi maka hal yang menarik adalah bagaimana membuat visualisasi dari perbedaan tekanan udara yang juga memenuhi Persamaan (2).

Gambar 6. Ilustrasi variasi tekanan udara dan pergeseran molekul-molekul udara dalam suatu pipa suara dengan titik-titik antinode (A) dan node (N) tekanannya (Nave, 2016a).

Pada ujung kiri, di mana terdapat dinding, tidak terdapat perubahan fasa saat pemantulan karena gelombang menghadapi impedansi akustik yang lebih besar (oleh karena itu terdapat antinode tekanan), sedangkan pada ujung kiri yang terbuka terjadi perubahan fasa

sebesar π diakibatkan gelombang bertemu medium dengan impedansi akustik lebih rendah (sehingga terdapat node tekanan).

Gambar 7. Gelombang stasioner tekanan untuk sistem pipa suara dengan kedua ujung tertutup untuk waktu setengah periode, di mana rentang warna tekanannya adalah terendah tertinggi.

Tekanan bernilai nol berarti sama dengan tekanan udara luar atau p_0 , tekanan positif berarti lebih besar dari p_0 , tekanan negatif berarti lebih rendah dari p_0 . Bila pada dinding terdapat tekanan lebih dari p_0 berarti saat itu molekul udara tidak dapat bergeser (karena adanya dinding) sehingga memberikan tekanan balik yang besar.

Gambar 8. Fitur Conditional Formatting yang dapat mewarnai sel sesuai dengan angka yang terdapat dalam sel tersebut.

Warna-warna tersebut dapat diperoleh dalam spreadsheet Microsoft Excel dengan menggunakan fitur Conditional Formatting sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8.

Soal 4. Lakukan latihan untuk memahirkan pemanfaatan fitur Conditional formatting dan ubah-ubah rentang warna yang ingin digunakan.

Konsep lain mengenai bunyi yang menarik untuk disinggung adalah efek Doppler, yang merupakan efek yang muncul saat baik sumber bunyi ataupun pendengar saling bergerak relatif sehingga mengubah frekuensi

yang terdengar, yang dirumuskan dalam bentuk (Fowler, 2009)

$$f_p = f_s \left(\frac{v \pm u_p}{v \mp u_s} \right), \quad (13)$$

dengan frekuensi yang terdengar pengamat f_p , frekuensi sumber bunyi f_s , laju rambat bunyi v , kecepatan pengamat u_p , dan kecepatan sumber bunyi u_s . Frekuensi yang terdengar oleh pengamat akan lebih besar dari frekuensi sumber bunyi bila jarak antar pengamat dan sumber bunyi semakin kecil dan sebaliknya. Tabel 1 memberikan sembilan kemungkinan yang dapat terjadi.

Tabel 1 Nilai u_s dan u_p serta pengaruhnya terhadap f_p/f_s .

Kasus	Arah gerak		u_p	u_s	f_p/f_s
1	←	p ← s	<0	<0	~1
2	←	p s	<0	0	<1
3	←	p s →	<0	>0	<1
4		p ← s	0	<0	>1
5		p s	0	0	1
6		p s →	0	>0	<1
7	→	p ← s	>0	<0	>1
8	→	p s	>0	0	>1
9	→	p s →	>0	>0	~1

Ilustrasi dalam Tabel 1 adalah untuk letak pengamat (p) berada di sebelah kiri dan sumber bunyi (s) berada di sebelah kanan, sesuai dengan letaknya dalam kolom kedua yang menggambarkan arah gerak dan $|u_s| = |u_p|$. Bila $|u_s| / |u_p| \neq 1$ perlu ditelaah dulu gerak relatif di antara p dan s, apakah saling menjauh atau mendekat. Pada udara kering bertemperatur 0 °C laju rambat udara adalah 331.2 m/s (Wikipedia, 2017c), yang untuk temperatur lebih tinggi dalam kelembaban yang sama (0 %) dapat didekati oleh

$$v = (3.31.2 + 0.606\theta), \quad (14)$$

dengan θ adaah temperatur dalam °C dan v dalam m/s.

SUM					
	A	B	C	D	E
1	θ (°C)	0		up (m/s)	30
2	v (m/s)	331.2		us (m/s)	20
3				fs (Hz)	150
4					
5	Kasus	up	us	fp	fp/fs
6	1	-30	-20	$3\$2+C6$	0.97
7	2	-30	0	136.41	0.91
8	3	-30	20	128.64	0.86
9	4	0	-20	159.64	1.06
10	5	0	0	150.00	1.00
11	6	0	20	141.46	0.94
12	7	30	-20	174.10	1.16
13	8	30	0	163.59	1.09
14	9	30	20	154.27	1.03
15					

Gambar 9. Tabel dalam spreadsheet untuk menghitung f_p/f_s menggunakan Persamaan (13)-(14).

Soal 5. Modifikasi spreadsheet dalam Gambar 9 dengan terlebih dahulu mengunduhnya dari <https://osf.io/3btsm/>.

Dengan memanfaatkan Tabel 1 dapat dibuat soal-soal yang sama mekanisme penyelesaiannya akan tetapi berbeda nilai-nilai variabelnya. Jenis soal-soal seperti ini dapat mengakomodasi peserta ajar untuk saling bekerja sama dalam mendiskusikan hasilnya dan bukan jawabannya. Dengan menggunakan JS dapat diperoleh hasil seperti dalam Gambar 10.

Efek Doppler

Soal 1. Pengamat p yang berada di sebelah kiri sumber bunyi s bergerak dengan kecepatan $u_p = 10.00$ m/s dengan sumber bunyi yang berada di sebelah kanannya sedang bergerak dengan kecepatan $u_s = -10.00$ m/s. Bila frekuensi sumber bunyi $f_s = 500.00$ Hz tentukanlah frekuensi yang terdengar pengamat f_p .

Jawab 1. Efek Doppler diberikan oleh

$$f_p = f_s \frac{v + u_p}{v + u_s} \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh bahwa frekuensi yang terdengar oleh pengamat $f_p = 531.13$ Hz.

Gambar 10. Contoh soal efek Doppler dengan menggunakan HTML dan JS.

Adapun untuk menghasilkan tampilan dalam Gambar 10 tersebut diperlukan kode berikut yang tersimpan dalam berkas bernama `doppler1.html` (yang dapat diunduh di <https://osf.io/59wv2/files/>).

```
<DOCTYPE html>
<!--
    doppler1.html
    Example of physics problem related to
    Doppler effect
    created using HTML and JavaScript

    Sparisoma Viridi | dudung@gmail.com

    20171207
    Create this HTML.
-->
<html>
<head>
<script type="text/x-mathjax-config">
MathJax.Hub.Config({
  TeX: { equationNumbers: { autoNumber: "AMS" } }
});
</script>
<script type="text/x-mathjax-config">
MathJax.Hub.Config({
  tex2jax: { inlineMath: [['$','$'], ['\\(','\\)']] }
});
</script>
<script type="text/javascript" async
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/mathjax/2.7.2/MathJax.js?config=TeX-MML-AM_CHTML">
```

```
</script>
```

```
<title>Contoh Soal Efek Doppler</title>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
<script>
```

```
// Define global variables
```

```
var T = 0; // oC
```

```
var v = (331.2 + 0.06 * T); // m/s
```

```
var fs = 500; // Hz
```

```
var up = 10; // m/s
```

```
var us = -10; // m/s
```

```
var fp = fs * (v + up) / (v + us);
```

```
// Write value to html
```

```
function out(x, name, unit) {
```

```
  var xx = x.toFixed(2);
```

```
  var str = name + " = " + xx + " " + unit;
```

```
  document.write(str);
```

```
}
```

```
</script>
```

```
<h1>Efek Doppler</h1>
```

```
<p>
```

```
<b>Soal 1</b>. Pengamat  $p$  yang berada di
sebelah kiri sumber bunyi  $s$  bergerak dengan
kecepatan <script>out(up, "u_p",
"m/s");</script> dengan sumber bunyi yang
berada di sebelah kanannya sedang bergerak
dengan kecepatan <script>out(us, "u_s",
"m/s");</script>. Bila frekuensi sumber bunyi
<script>out(fs, "f_s", "Hz");</script>
tentukanlah frekuensi yang terdengar pengamat
 $f_p$ .
```

```
</p>
```

```
<p>
```

```
<b>Jawab 1</b>. Efek Doppler diberikan oleh
</p>
```

```
\begin{equation}
```

```
f_p = f_s \frac{v + u_p}{v + u_s}.
```

```
\label{eq:Doppler-effect}
```

```
\end{equation}
```

```
<p>
```

```
Dengan menggunakan Persamaan \eqref{eq:Doppler-
effect} dapat diperoleh bahwa frekuensi yang
terdengar oleh pengamat <script>out(fp,
"u_p", "Hz");</script>.
```

```
</p>
```

```
</body>
```

```
</html>
```

Fitur berikutnya yang dapat ditambahkan adalah membuat soalnya menjadi dinamis dengan memanfaatkan fungsi `Math.random()` yang terdapat dalam JS sehingga bilangan bulat dengan rentang tertentu dapat dibangkitkan melalui fungsi `randInt(min, max)`. Lengkapnya

isi berkas `doppler2.html` (yang dapat diunduh di <https://osf.io/59wv2/files/>) adalah sebagai berikut ini

```
<DOCTYPE html>
<!--
  doppler2.html
  Example of physics problem related to
  Doppler effect
  created using HTML and JavaScript (random)

  Sparisoma Viridi | dudung@gmail.com

  20171207
  Create this HTML by advancing doppler1.html
  with
  randInt(min, max) from mjgauss.html.
-->
<html>
<head>
<script type="text/x-mathjax-config">
MathJax.Hub.Config({
  TeX: { equationNumbers: { autoNumber: "AMS" }
  }
});
</script>
<script type="text/x-mathjax-config">
MathJax.Hub.Config({
  tex2jax: {inlineMath: [['$','$'],
['\\(', '\\)']]
  });
</script>
<script type="text/javascript" async
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/mathjax/2.7.2/MathJax.js?config=TeX-MML-AM_CHTML">
</script>

<script>
// Generate a random number in [min, max]
function randInt(min, max) {
  var len = max - min + 1;
  var num = min + parseInt(Math.random() *
len);
  return num;
}
</script>

<title>Contoh Soal Efek Doppler</title>

</head>
<body>

<script>
// Define global variables
var T = randInt(0, 25); // oC
var v = (331.2 + 0.06 * T); // m/s
var fs = randInt(200, 300); // Hz
var up = randInt(-20, 20); // m/s
var us = randInt(-20, 20); // m/s
var fp = fs * (v + up) / (v + us);

// Write value to html
function out(x, name, unit, digit) {
```

```
var xx = x.toFixed(digit);
var str = name + " = " + xx + " " + unit;
document.write(str);
}
</script>

<h1>Efek Doppler (soal acak)</h1>

<p>
<b>Soal 1</b>. Pengamat $p$ yang berada di
sebelah kiri sumber bunyi $s$ bergerak dengan
kecepatan <script>out(up, "$u_p$", "m/s",
0);</script> dengan sumber bunyi yang berada di
sebelah kanannya sedang bergerak dengan
kecepatan <script>out(us, "$u_s$", "m/s",
0);</script>. Lingkungan merupakan udara kering
dengan temperatur <script>out(T, "$T$",
"&deg;C", 0);</script>. Bila frekuensi sumber
bunyi <script>out(fs, "$f_s$", "Hz",
0);</script> tentukanlah frekuensi yang
terdengar pengamat $p$.
</p>

<p>
<b>Jawab 1</b>. Efek Doppler diberikan oleh
</p>

\begin{equation}
f_p = f_s \frac{v \pm u_p}{v \mp u_s}.
\label{eq:Doppler-effect}
\end{equation}

<p>
Dengan menggunakan Persamaan \eqref{eq:Doppler-
effect} dapat diperoleh bahwa frekuensi yang
terdengar oleh pengamat <script>out(fp,
"$f_p$", "Hz");</script>.
</p>

</body>
</html>
```

yang dapat menghasilkan Gambar 11 dengan nilai-nilai variabelnya diberikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Contoh-contoh nilai acak untuk soal efek Doppler.

Acak	T (°C)	f_s (Hz)	u_p (m/s)	u_s (m/s)	Hasil f_p (Hz)
1	14	278	1	-13	290.20
2	17	285	17	-7	306.03
3	8	260	12	8	263.06
4	9	203	-18	15	183.68

Dari kode JS dalam `doppler2.html` dapat dilihat pada bagian

```
var T = randInt(0, 25); // oC
var fs = randInt(200, 300); // Hz
var up = randInt(-20, 20); // m/s
var us = randInt(-20, 20); // m/s
```

yang menunjukkan rentang nilai-nilai dari T , f_s , u_p , dan u_s yang mungkin dimunculkan. Nilai-nilai v dan f_p dihitung dengan menggunakan Persamaan (14) dan (13).

Efek Doppler (soal acak)

Soal 1. Pengamat p yang berada di sebelah kiri sumber bunyi s bergerak dengan kecepatan $u_p = 1$ m/s dengan sumber bunyi yang berada di sebelah kanannya sedang bergerak dengan kecepatan $u_s = -13$ m/s. Lingkungan merupakan udara kering dengan temperatur $T = 14$ °C. Bila frekuensi sumber bunyi $f_s = 278$ Hz tentukanlah frekuensi yang terdengar pengamat f_p .

Jawab 1. Efek Doppler diberikan oleh

$$f_p = f_s \frac{v \pm u_p}{v \mp u_s}. \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh bahwa frekuensi yang terdengar oleh pengamat $f_p = 290.20$ Hz.

Efek Doppler (soal acak)

Soal 1. Pengamat p yang berada di sebelah kiri sumber bunyi s bergerak dengan kecepatan $u_p = 17$ m/s dengan sumber bunyi yang berada di sebelah kanannya sedang bergerak dengan kecepatan $u_s = -7$ m/s. Lingkungan merupakan udara kering dengan temperatur $T = 17$ °C. Bila frekuensi sumber bunyi $f_s = 285$ Hz tentukanlah frekuensi yang terdengar pengamat f_p .

Jawab 1. Efek Doppler diberikan oleh

$$f_p = f_s \frac{v \pm u_p}{v \mp u_s}. \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh bahwa frekuensi yang terdengar oleh pengamat $f_p = 306.03$ Hz.

Efek Doppler (soal acak)

Soal 1. Pengamat p yang berada di sebelah kiri sumber bunyi s bergerak dengan kecepatan $u_p = 12$ m/s dengan sumber bunyi yang berada di sebelah kanannya sedang bergerak dengan kecepatan $u_s = 8$ m/s. Lingkungan merupakan udara kering dengan temperatur $T = 8$ °C. Bila frekuensi sumber bunyi $f_s = 260$ Hz tentukanlah frekuensi yang terdengar pengamat f_p .

Jawab 1. Efek Doppler diberikan oleh

$$f_p = f_s \frac{v \pm u_p}{v \mp u_s}. \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh bahwa frekuensi yang terdengar oleh pengamat $f_p = 263.06$ Hz.

Efek Doppler (soal acak)

Soal 1. Pengamat p yang berada di sebelah kiri sumber bunyi s bergerak dengan kecepatan $u_p = -18$ m/s dengan sumber bunyi yang berada di sebelah kanannya sedang bergerak dengan kecepatan $u_s = 15$ m/s. Lingkungan merupakan udara kering dengan temperatur $T = 9$ °C. Bila frekuensi sumber bunyi $f_s = 203$ Hz tentukanlah frekuensi yang terdengar pengamat f_p .

Jawab 1. Efek Doppler diberikan oleh

$$f_p = f_s \frac{v \pm u_p}{v \mp u_s}. \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh bahwa frekuensi yang terdengar oleh pengamat $f_p = 183.68$ Hz.

Gambar 11. Contoh soal efek Doppler dengan menggunakan HTML dan JS yang nilai-nilai variabelnya telah diacak.

Soal 6. Ubahlah `doppler2.html` sehingga dapat dibuat jenis soal yang lain, misalnya ditanyakan temperatur T , frekuensi pendengar f_p , kecepatan sumber bunyi u_s , kecepatan pendengar u_p , atau variasi lainnya.

Kemampuan JS untuk bersifat dinamis dapat juga digunakan untuk menggambar, sehingga setiap saat nilai yang muncul akan bersifat acak. Salah satu visualisasi sederhana yang dapat dibuat adalah mengenai hukum Snell untuk pembiasan (Wikipedia, 2017d)

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (15)$$

dengan θ_1 adalah sudut sinar datang, θ_2 adalah sudut sinar bias, n_1 adalah indeks bias medium asal sinar datang, dan n_2 adalah indeks bias medium tempat sinar dibiaskan.

Hukum Snell (soal acak)

Soal 1. Medium dari mana sinar datang memiliki indeks bias $n_1 = 1$ dan medium ke mana sinar dibiaskan memiliki indeks bias $n_2 = 1.20$. Gambarkan jalannya sinar saat melewati batas medium bila sudut datangnya adalah $\theta_1 = 52$ °.

Jawab 1. Hukum Snell menyatakan bahwa

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh sudut bias adalah $\theta_2 = 41.05$ °.

Hukum Snell (soal acak)

Soal 1. Medium dari mana sinar datang memiliki indeks bias $n_1 = 1$ dan medium ke mana sinar dibiaskan memiliki indeks bias $n_2 = 1.70$. Gambarkan jalannya sinar saat melewati batas medium bila sudut datangnya adalah $\theta_1 = 21$ °.

Jawab 1. Hukum Snell menyatakan bahwa

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1) dapat diperoleh sudut bias adalah $\theta_2 = 12.17$ °.

Gambar 12. Contoh soal hukum Snell dengan menggunakan HTML dan JS yang nilai-nilai variabelnya telah diacak.

Untuk menghasilkan Gambar 12 diperlukan setidaknya kode berikut ini

```
<DOCTYPE html>
<!--
    snall1.html
    Example of physics problem related to
    Snell's law
    created using HTML and JavaScript (random)

    Sparisoma Viridi | dudung@gmail.com

    20171207
    Create this HTML by advancing doppler2.html
    with
    randInt(min, max) from mjgauss.html.
```

```
-->
<html>
<head>
<script type="text/x-mathjax-config">
MathJax.Hub.Config({
  TeX: { equationNumbers: { autoNumber: "AMS" }
}
});
</script>
<script type="text/x-mathjax-config">
MathJax.Hub.Config({
  tex2jax: { inlineMath: [['$','$'],
['\\(', '\\)']]
});
</script>
<script type="text/javascript" async

src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/mathjax@2.7.2/MathJax.js?config=TeX-MML-AM_CHTML">
</script>

<script>
// Generate a random number in [min, max]
function randInt(min, max) {
  var len = max - min + 1;
  var num = min + parseInt(Math.random() *
len);
  return num;
}
</script>

<title>Contoh Soal Efek Doppler</title>

</head>
<body>

<script>
// Define global variables
var n1 = 1; //
var n2 = 1 + 0.1 * randInt(1, 9); //
var theta1 = randInt(20, 70); // o
var theta2 = Math.asin(n1 * Math.sin(theta1 /
180 * Math.PI) / n2); // rad
theta2 = theta2 * 180.0 / Math.PI; // o

// Write value to html
function out(x, name, unit, digit) {
  var xx = x.toFixed(digit);
  var str = name + " = " + xx + " " + unit;
  document.write(str);
}
</script>

<h1>Hukum Snell (soal acak)</h1>

<p>
<b>Soal 1</b>. Medium dari mana sinar datang
memiliki indeks biar <script>out(n1, "$n_1$",
"", 0);</script> dan medium ke mana sinar
dibiaskan memiliki indeks bias <script>out(n2,
"$n_1$", "", 2);</script>. Gambarkan jalannya
sinar saat melewati batas medium bila sudut
```

```
datangnya adalah <script>out(theta1,
"$\theta_1$", "&deg;", 0);</script>.
</p>
```

```
<p>
<b>Jawab 1</b>. Hukum Snell menyatakan bahwa
</p>
```

```
\begin{equation}
\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} =
\frac{n_2}{n_1}.
\label{eq:Snell-law}
\end{equation}
```

```
<p>
Dengan menggunakan Persamaan \eqref{eq:Snell-
law} dapat diperoleh sudut bias adalah
<script>out(theta2, "$\theta_2$", "&deg;",
2);</script>.
</p>
```

```
<p style="text-align: center;">
<canvas id="gambar" width="200px"
height="200px" style="border: 1px solid #ccf;">
</canvas>
</p>
```

```
<script>
var c = document.getElementById("gambar");
var cx = c.getContext("2d");
cx.fillStyle = "#dfd";
cx.fillRect(0, 100, 200, 200);
cx.fillStyle = "#000";
cx.fillText("n1", 20, 80);
cx.fillText("n2", 20, 120);
var R = 100;
var x1 = R * Math.sin(theta1 * Math.PI / 180);
var y1 = R * Math.cos(theta1 * Math.PI / 180);
var x2 = R * Math.sin(theta2 * Math.PI / 180);
var y2 = R * Math.cos(theta2 * Math.PI / 180);
```

```
cx.beginPath();
cx.moveTo(100, 100);
cx.lineTo(100 - x1, 100 - y1);
cx.stroke();
```

```
cx.beginPath();
cx.moveTo(100, 100);
cx.lineTo(100 + x2, 100 + y2);
cx.stroke();
```

```
cx.setLineDash([4, 4]);
cx.strokeStyle = "#f00";
cx.beginPath();
cx.moveTo(100, 100);
cx.lineTo(100 + x1, 100 + y1);
cx.stroke();
```

```
console.log(x1);
console.log(y1);
console.log(x2);
console.log(y2);
```


</script>

</body>

</html>

yang tersimpan dalam berkas `snell1.html` (dan dapat diunduh di <https://osf.io/59wv2/files/>).

Soal 7. Ubahlah `snell12.html` sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghitung sudut kritis dengan syarat $n_1 > n_2$. Apa syarat yang harus diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan saat menghitung arc sin?

Fenomena lain yang menarik untuk dikaji adalah interferensi oleh dua celah sempit yang posisi-posisi angularnya untuk interferensi konstruktif diberikan oleh

$$d \sin \theta = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (15)$$

dan untuk interferensi destruktif diberikan oleh

$$d \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (16)$$

Eksresi dalam Persamaan (15) diperoleh dengan asumsi bahwa sumber cahaya terletak pada jarak yang jauh, lebih jauh dibandingkan dengan jarak antar kedua celah, dan jarak antar kedua celah jauh lebih besar dari lebar celah (Nave, 2016b).

Gambar 13. Interferensi oleh dua celah: intensitas hasil interferensi dengan fitur conditional formatting putih-hitam (atas) parameter-parameter fisis yang digunakan (tengah), dan formula yang digunakan (bawah).

Dengan menggunakan sebuah spreadsheet, e.g. Microsoft Excel, interferensi pada setiap posisi dapat digam-

barkan, tidak hanya dilayar. Figur yang digunakan adalah referensi sel statis (dengan \$) dan dinamis (tanpa \$) serta conditional formatting seperti dalam Gambar 8. Hasil yang diperoleh dengan memanfaatkan fitur-fitur tersebut telah disajikan dalam Gambar 13. Sel yang tersorot adalah sel I6 yang isinya adalah

$$= (\$D\$2 * \sin(2 * \pi * () / \$D\$3 * \sqrt{(\$I\$2 - \$D\$4)^2 + (\$G\$6 - \$D\$5)^2}) + \$B\$2 * \sin(2 * \pi * () / \$B\$3 * \sqrt{(\$I\$2 - \$B\$4)^2 + (\$G\$6 - \$B\$5)^2}))^2$$

yang tak lain merupakan ungkapan dari persamaan

$$I(x, y) = \left[A_1 \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \right) + A_2 \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_2} \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \right) \right]^2, \quad (17)$$

yang menggambarkan superposisi dari gelombang yang bersumber dari (x_1, y_1) dan (x_2, y_2) . Sebagai konfirmasi Gambar 14 memberikan hasil pengamatan interferensi dua celah sempit (Narag, 2016), yang dalam sumber tersebut digunakan sebagai ilustrasi.

Gambar 14. Hasil interferensi oleh dua celah sempit.

Lalu bagaimana dengan lebih banyak sumber? Untuk N buah sumber Persamaan (17) dapat diubah menjadi lebih umum menjadi

$$I(x, y) = \left[\sum_{i=1}^N E_i(x, y) \right]^2, \quad (18)$$

dengan

$$E_i(x, y) = A_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda_i} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right] \quad (19)$$

menggambarkan gelombang pada posisi (x, y) akibat sumber yang berada pada posisi (x_i, y_i) .

Selanjutnya adalah menggunakan informasi yang diberikan oleh sel-sel spreadsheet dalam Gambar 13

untuk menunjukkan keberlakuan Persamaan (15) dan (16) yang telah lebih umum dikenal. Dengan mengambil suatu kolom dari sel-sel dalam rentang \$H\$3:\$D\$43 dapat diperoleh nilai dan tampilan dalam Gambar 15.

Gambar 15. Ilustrasi intensitas hasil interferensi dua celah sempit (sumber titik) dengan mengambil satu kolom sel-sel dari \$D\$3 sampai \$D\$43.

Dari kolom sel-sel yang diambil, untuk Gambar 15 adalah \$D\$3:\$D\$43 hanya diperoleh satu maksimum dan dua minimum yang mengapitnya. Puncak-puncak lain diperoleh dengan menduplikasinya.

Soal 8. Tunjukkan bahwa dengan mengambil kolom lain gambar seperti Gambar 15 dapat diperoleh.

Dengan membandingkan hasil yang diperoleh pada kolom-kolom yang berbeda, akan dapat ditunjukkan secara numerik bahwa Persamaan (15) dan (16) berlaku apabila jarak layar cukup jauh dari kedua celah (sumber) atau

$$d \ll L, \quad (20)$$

dengan d adalah jarak antar kedua celah dan L adalah jarak layar ke celah, yang tak lain akan membawa ke pendekatan sudut kecil

$$\sin \theta \approx \tan \theta. \quad (21)$$

Soal 9. Tunjukkan bagaimana Persamaan (20) dapat membuat Persamaan (21). Gunakan aproksimasi dengan menggunakan deret Taylor atau Maclaurin bila diperlukan.

Bentuk $\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ yang terdapat dalam Persamaan (17) atau (19) terdapat pula dalam perhitungan potensial listrik dan gravitasi oleh sumber titik dan juga perhitungan intensitas bunyi. Dengan demikian rumusan yang sama dapat diterapkan untuk memperoleh ilustrasi $V(x, y)$ untuk potensial listrik atau gravitasi dan $I(x, y)$ untuk intensitas bunyi.

Soal 10. Buatlah suatu sheet tambahan dalam spreadsheet yang telah diberikan sehingga potensial gravitasi $V_G(x, y)$, potensial listrik $V_E(x, y)$, dan intensitas bunyi $I(x, y)$ pada setiap posisi (x, y) dapat digambarkan.

Telah ditunjukkan bahwa dengan menggunakan HTML dan JS serta spreadsheet telah dapat dirancang soal-soal dinamis materi fisika serta visualisasinya yang dapat membuat pengajar lebih fokus pada jenis soal dan mekanisme penyelesaiannya ketimbang perhitungan numeriknya. Dan tentu saja keefektifan pembelajaran dengan materi berbantuan HTML+JS dan spreadsheet

ini masih perlu diobservasi menggunakan satu penelitian tindakan kelas (PTK).

- Cresser JD 2005 "Wave Mechanics Notes for PHYS201", MacQuarie University, Sydney, 23 May, p. 11.
- Botet R, Trizac E 2005 *Eur. J. Phys.* **26** S1.
- Esquembre F 2002 *Comput. Phys. Educ.* **147** 13.
- Flanagan D 2011 *JavaScript: The Definitive Guide*, O'Reilly Media Inc., 6th edn, p. 1.
- Fowler M 2009 "The Doppler Effect" University of Virginia, Virginia, USA, 14 Oct, URL <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/DopplerEffect.pdf> [20171207].
- Gatto SL, Tak SH 2008 *Educ. Gerontol.* **34** 800.
- Griffiths M 200 *Cyberpsychol. Behav.* **3** 211.
- Leonop DA, Suhendra A 2011 "Pemrograman Java Script untuk Simulasi Pada Aplikasi E-Learning Fisika Mekanika" karya tulis tingkat sarjana muda, Universitas Gunadarma, URL <http://library.gunadarma.ac.id/repository/view/6156> [20171206].
- Nafis N 2015 "Media Pembelajaran Fisika Berbasis Spreadsheet Excel Untuk Meningkatkan Prestasi Belajar Siswa" Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains UKSW, 19 September, Salatiga, Indonesia, p. 280.
- Narag MJ 2016 "Interference and Diffraction" 28 February, URL <https://jeremynarag.wordpress.com/2016/02/28/interference-and-diffraction/> [20171207].
- Nave CR 2016a "Displacement and Pressure" HyperPhysics, URL <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/standw.html> [20171206].
- Nave CR 2016b "Double Slit Interference" HyperPhysics, URL <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/slits.html> [20171212].
- Nuroso H, Arifin A 2011 *JP2F* **2** 78.
- Redish E 1993 *Comput. Phys.* **7** 613.
- Takács G, Rohal'-Ilkiv B 2012 *Model Predictive Vibration Control*, Springer-Verlag London, p. 28.
- Patel K 2014 "Standing Waves on a String / Ring" Physics Bridge Course, 3 May, URL <https://physicsbridgecourse.blogspot.co.id/2014/05/standing-waves-on-string-ring.html> [20171206].
- Valiati ERdA, Heineck R 2002 "Computers in Teaching-Learning of Physics Discipline: Investigating Different Methodologies" Proceedings of the International Conference on Computers in Education (ICCE'02), 3-6 December 2002, Auckland, New Zealand, New Zealand.
- Viridi S, Haryanto F, Purnama FA 2017a "Teach Yourself Fluid Concepts: How to Use Internet Resources" Pembelajaran Fisika, 30 Oktober 2017, doi: [10.17605/OSF.IO/85SAF](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/85SAF).
- Viridi S, Halid J, Kristianti T, Setiawan R 2017b "Penelitian Guru untuk Mempersiapkan Generasi Z di Indonesia" Seminar Penelitian Bidang IPA, 7-8 November 2017, Bandung, Indonesia, doi: [10.17605/OSF.IO/9TRA7](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/9TRA7).
- Wikipedia 2017a "List of Office Suites" Wikipedia, The Free Encyclopedia, 24 November 15:08 UTC, oldid: 811868351 [20171206].
- Wikipedia 2017b "Web Browser" Wikipedia, The Free Encyclopedia, 13 November 06:40 UTC, oldid: 810078891 [20171206].
- Wikipedia 2017c "Speed of sound" Wikipedia, The Free Encyclopedia, 20 November 2017, 03:21 UTC, oldid: 811200578 [20171207].
- Wikipedia 2017d, "Snell's law", Wikipedia, The Free Encyclopedia, 6 November 2017, 17:51 UTC, oldid: 809023371 [20171207].