

BAB 2 TINJAUAN TEORITIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Lembar Kerja Peserta Didik (E-LKPD)

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) merupakan suatu media pembelajaran yang digunakan oleh guru (Rachmayanti dkk, 2023). LKPD digunakan sebagai penunjang pelaksanaan pembelajaran di kelas. LKPD berisi materi, sintaks pembelajaran, alat dan bahan, langkah-langkah percobaan, dan soal-soal yang harus dikerjakan oleh peserta didik. Biasanya LKPD tersedia dalam bentuk cetak, namun pada saat ini sudah terdapat LKPD berbasis elektronik.

Seiring perkembangan teknologi, lembar kerja peserta didik telah mengalami perubahan dari berbasis cetak menjadi berbasis aplikasi atau situs tertentu. LKPD dirancang sebagai panduan bagi guru dan peserta didik dalam melakukan praktikum, sehingga guru dapat berperan sebagai pembimbing yang memastikan praktikum berjalan dengan baik (Simanjuntak dkk, 2021).

Menurut Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia No. 22 Tahun 2016 tentang Standar Proses pendidikan dasar dan menengah menyatakan bahwa proses pembelajaran menggunakan pendekatan, strategi, model dan metode yang mengacu pada karakteristik interaktif, memotivasi peserta didik untuk berpartisipasi aktif, dan kontekstual (Sudana, 2018). Salah satu cara untuk meningkatkan pembelajaran fisika sesuai karakteristik tersebut adalah melalui penggunaan E-LKPD. E-LKPD memungkinkan peserta didik untuk belajar secara mandiri dan membangun pengetahuan mereka melalui berbagai sumber belajar.

E-LKPD adalah salah satu bentuk media pembelajaran yang digunakan untuk mendukung proses pembelajaran, baik dalam skala individu maupun kelompok yang di dalamnya memuat materi, soal latihan, video pembelajaran dan kegiatan lainnya (Trisnani dkk, 2021). Penggunaan E-LKPD memiliki kelebihan bagi pendidik dalam mendukung kegiatan pembelajaran. Dengan menggunakan E-LKPD, diharapkan peserta didik dapat belajar secara mandiri dan memahami materi yang diajarkan. E-LKPD juga dapat disesuaikan dengan kondisi dan situasi

pembelajaran yang dihadapi. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan LKPD dalam bentuk elektronik (E-LKPD) yang memanfaatkan perkembangan teknologi sebagai alat bantu dalam kegiatan praktikum fisika (Ariyansah & Sulistyowati, 2021).

2.1.2 Fungsi dan Tujuan E-LKPD

Menurut Jannah (2019) E-LKPD yang dikembangkan untuk membantu kegiatan pembelajaran fisika di sekolah mempunyai fungsi-fungsi sebagai berikut:

2.1.2.1 Sebagai panduan bagi peserta didik dalam melakukan kegiatan pembelajaran. E-LKPD ini berisi materi, alat dan bahan, serta prosedur kerja yang dapat dipahami oleh peserta didik.

2.1.2.2 Sebagai lembar pengamatan hasil praktikum. Lembar kerja memuat tabel pengamatan yang memudahkan peserta didik dalam mencatat hasil praktikum yang telah dilakukan. Lembar kerja ini dapat memandu peserta didik dalam menuliskan hasil pengamatannya dengan baik.

2.1.2.3 Sebagai lembar diskusi antar individu. Lembar kerja memuat soal-soal pertanyaan yang menuntun peserta didik untuk melakukan diskusi dalam menemukan konsep. Melalui diskusi tersebut peserta didik dapat menyimpulkan hasil praktikum yang telah dilakukan untuk memperoleh konsep-konsep yang dipelajari.

2.1.2.4 Sebagai sarana untuk melatih peserta didik untuk berfikir kritis dalam proses pembelajaran.

Adapun tujuan dari E-LKPD diantaranya yaitu E-LKPD memungkinkan guru atau instruktur untuk menyediakan lembar kerja atau tugas secara elektronik, sehingga peserta didik dapat mengaksesnya dengan mudah melalui perangkat komputer atau perangkat seluler. Ini mempermudah distribusi materi pembelajaran tanpa perlu mencetak kertas secara fisik (Ariyansah & Sulistyowati, 2021). Selain itu, E-LKPD memberikan fleksibilitas dalam proses pembelajaran. Peserta didik dapat mengakses tugas atau materi pembelajaran kapan saja dan di mana saja sesuai dengan kebutuhan mereka, yang berguna terutama dalam pendidikan jarak jauh atau *blended learning* (Sugita & Muchlis, 2022).

2.1.3 Komponen-komponen E-LKPD

Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik (E-LKPD) memiliki beberapa komponen yang dibuat untuk membantu peserta didik memahami isi pelajaran secara terstruktur (Wahyuni dkk, 2021). Komponen-komponen utama dalam E-LKPD meliputi:

1. Judul

Merupakan identitas tentang fokus materi dalam E-LKPD.

2. Petunjuk belajar

Dalam E-LKPD, biasanya disertakan panduan yang mendetail tentang bagaimana peserta didik harus menjalankan aktivitas atau menyelesaikan tugas yang terdapat dalam lembar kerja tersebut.

3. Indikator Pembelajaran

Merupakan perilaku yang dapat diukur untuk menunjukkan ketercapaian Kompetensi Dasar (KD) tertentu yang menjadi acuan penilaian mata pelajaran.

4. Informasi Pendukung

Merupakan bagian mencakup materi yang disampaikan. Materi ini haruslah relevan dengan kurikulum dan tujuan pembelajaran yang ditetapkan.

5. Langkah Kerja

Langkah kerja merupakan aktivitas yang dilakukan dalam kegiatan pembelajaran. Beberapa contoh aktivitas pembelajaran yaitu soal-soal, latihan, eksperimen, atau penugasan. Semua aktivitas ini dirancang untuk membantu peserta didik menguasai materi pelajaran.

6. Evaluasi atau Penilaian

Sejumlah E-LKPD dapat mencakup soal-soal evaluasi atau penilaian yang berguna bagi guru untuk mengukur pemahaman peserta didik terhadap materi pembelajaran. Jenis pertanyaan ini bisa melibatkan soal pilihan ganda, pengisian singkat, atau pertanyaan reflektif.

7. Catatan atau Ruang untuk Jawaban

Biasanya, E-LKPD menyediakan tempat di mana peserta didik dapat menulis jawaban atau catatan sebagai bagian dari proses pembelajaran.

2.1.4 Langkah-langkah membuat E-LKPD

Menurut Amalini (2021) membuat E-LKPD memerlukan beberapa langkah.

Berikut adalah langkah-langkah umum untuk membuat E-LKPD:

1. Identifikasi Tujuan Pembelajaran

Tujuan ini harus spesifik, terukur, dan relevan dengan materi pelajaran yang akan diajarkan. Selain itu, analisis kurikulum yang mencakup analisis KD, IPK dan materi pelajaran.

2. Pilih *Platform* atau Perangkat Lunak

Pilih *platform* atau perangkat lunak yang dapat digunakan, seperti aplikasi pengolah kata, spreadsheet, alat desain grafis, atau *platform* pembelajaran daring khusus.

3. Rancang Struktur E-LKPD

Buat struktur atau kerangka dasar E-LKPD. Ini termasuk judul, deskripsi singkat, tujuan pembelajaran, dan bagian-bagian utama seperti materi pembelajaran, aktivitas, pertanyaan ulangan, dan evaluasi.

4. Pilih dan Atur Materi Pembelajaran

Sisipkan materi pembelajaran, seperti teks, gambar, video, atau audio sesuai dengan kebutuhan.

5. Buat Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas ini bisa berupa soal-soal, latihan, eksperimen, atau tugas-tugas yang relevan dengan materi pembelajaran.

6. Tambahkan Pertanyaan Pengulangan

Jika diperlukan, masukkan pertanyaan-pertanyaan pengulangan yang akan membantu peserta didik menguji pemahaman mereka terhadap materi. Pastikan pertanyaan tersebut beragam dan mencakup berbagai tingkat kesulitan.

7. Buat Evaluasi atau Penilaian

Tambahan soal-soal evaluasi atau penilaian yang dapat digunakan untuk mengukur kemajuan peserta didik.

8. Desain Tampilan yang Menarik

Pertimbangkan desain visual E-LKPD tampilannya menarik dan mudah dinavigasi oleh peserta didik.

9. Uji E-LKPD

Sebelum membagikan E-LKPD kepada peserta didik, uji dan periksa keseluruhan konten dan fungsionalitasnya.

10. Distribusi E-LKPD

E-LKPD akan dibagikan kepada peserta didik melalui *platform* pembelajaran daring, email, atau cara lain yang sesuai dengan lingkungan pembelajaran.

2.1.5 Model Pembelajaran SETS

Model pembelajaran *Science, Environment, Technology and Society* (SETS) atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai model "Sains, Lingkungan, Teknologi, dan Masyarakat" (SaiLingTemas) (Rohmatun & Rasyid, 2022). Model pembelajaran *Science, Environment, Technology, and Society* (SETS) adalah model pembelajaran yang memadukan pemahaman dan pemanfaatan sains, teknologi, lingkungan, dan masyarakat dengan tujuan agar konsep sains dapat diaplikasikan melalui keterampilan yang bermanfaat bagi peserta didik dan masyarakat. Model pembelajaran saintifik atau *scientific approach* juga dapat digunakan untuk mengajarkan konsep sains, teknologi, dan lingkungan dengan cara yang lebih terstruktur dan ilmiah. Selain itu, model pembelajaran berbasis lingkungan atau *environmental learning* dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap lingkungan dan memperoleh pengalaman yang lebih berkaitan dengan lingkungan. Tujuan dari pembelajaran dengan model SETS adalah memberikan langkah-langkah untuk menghubungkan pengetahuan peserta didik dengan sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (Khomariah, 2021).

Menurut Suci dkk (2020) model pembelajaran SETS dapat diterapkan di kelas dengan beberapa cara, diantaranya adalah memusatkan permasalahan dari dunia nyata yang memiliki komponen sains dan teknologi dari perspektif siswa, di dalamnya terdapat konsep-konsep dan proses, selanjutnya siswa diajak untuk menginvestigasi, menganalisis, dan menerapkan konsep, dan proses itu pada situasi yang nyata. Mengintegrasikan unsur SETS dalam proses pembelajaran. Selain itu, kelebihan model pembelajaran SETS dapat meningkatkan keterampilan inkuiri, keterampilan pemecahan masalah, dan keterampilan proses, dapat meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap lingkungan dan memperoleh pengalaman yang

lebih berkaitan dengan lingkungan, dapat mengintegrasikan konsep sains, teknologi, dan lingkungan dengan cara yang lebih terintegrasi dan kreatif.

Model pembelajaran SETS dapat membantu siswa untuk memahami konsep sains, teknologi, lingkungan, dan masyarakat dengan cara yang lebih terintegrasi dan aplikatif (Rohmatun & Rasyid, 2022). Selain itu, model pembelajaran SETS juga dapat membantu siswa untuk mengembangkan keterampilan inkuiri, keterampilan pemecahan masalah, dan keterampilan proses yang berguna dalam kehidupan sehari-hari.

2.1.6 Sintaks Model Pembelajaran SETS

Langkah-langkah dalam model pembelajaran SETS menurut *National Science Teacher Association* (NSTA) terdiri dari 5 tahap, yaitu (Rohmatun & Rasyid, 2022) :

1. Tahap Invitasi
2. Tahap Eksplorasi
3. Tahap Solusi
4. Tahap Aplikasi
5. Tahap Pemantapan Konsep

Berikut ini merupakan tahapan/sintaks dari model SETS dalam kegiatan pembelajaran fisika di sekolah yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Sintaks SETS

Fase	Indikator	Kegiatan Guru	Kegiatan Peserta Didik
1	Invitasi	Guru memberikan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari yang dapat dipahami oleh peserta didik dan merangsang mereka untuk mencari solusi terhadap masalah tersebut	Peserta didik diberikan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari yang dapat dipahami oleh peserta didik dan merangsang mereka untuk mencari solusi terhadap masalah tersebut
2	Eksplorasi	Guru membantu peserta didik dalam mencari berbagai sumber informasi	Peserta didik berusaha memahami permasalahan yang telah diberikan dan melakukan eksplorasi

Fase	Indikator	Kegiatan Guru	Kegitan Peserta Didik
		yang relevan dengan permasalahan pada kegiatan invitasi	untuk mencari informasi dan pengetahuan yang relevan
3	Solusi	Guru membimbing peserta didik dalam melaksanakan kegiatan diskusi dan analisis permasalahan pada tahap sebelumnya	Peserta didik menganalisis dan mendiskusikan cara-cara untuk memecahkan masalah yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya.
4	Aplikasi	Guru membantu peserta didik dalam membuat kesimpulan	Peserta didik memiliki kesempatan untuk menerapkan konsep yang telah dipelajari dan memberikan bukti nyata dalam mengatasi permasalahan yang telah dihadapi pada tahap invitasi
5	Pemantapan Konsep	Guru memberikan penjelasan konsep yang lebih mendalam sebagai umpan balik atau penguatan terhadap konsep yang telah diperoleh oleh peserta didik selama proses pembelajaran	Peserta didik mendengarkan penjelasan dari guru dan mampu menyimpulkan materi yang telah dipelajari

Dengan menggunakan langkah-langkah ini, model pembelajaran SETS bertujuan untuk mengaitkan konsep sains dengan lingkungan, teknologi, dan masyarakat sehingga peserta didik dapat memahami dan mengaplikasikan pengetahuan tersebut dalam kehidupan sehari-hari.

2.1.7 Laboratorium Virtual

Laboratorium virtual merupakan laboratorium yang diciptakan oleh ilusi digital untuk memberi ruang, waktu dan tempat yang berisikan fenomena yang memiliki hubungan yang sama dengan kehidupan nyata (Muhajarah & Sulthon, 2020). Laboratorium virtual dapat dibatasi sebagai sebuah realitas ruangan maya yang digunakan untuk penelitian ilmiah, eksperimen dan tes yang memberikan

ruang, waktu dan tempat yang nyata. Menurut Wahab (dalam Muhajarah & Sulthon, 2020) menyatakan bahwa laboratorium virtual menyediakan pengalaman pembelajaran yang memungkinkan peneliti melakukan eksperimen nyata dari jarak jauh melalui internet.

Secara teknis, menurut Jaya (dalam Muhajarah & Sulthon, 2020) menyampaikan bahwa pengembangan komponen laboratorium virtual dapat dijalankan melalui langkah-langkah berikut: (1) Penyediaan materi, yaitu benda atau objek yang terkait dengan praktik yang akan dilakukan; (2) *Job Sheet*, lembar kerja siswa yang mencakup langkah-langkah kegiatan, pengisian tabel, dan analisis data; (3) Simulasi, di mana mahasiswa dapat melakukan latihan dengan meniru situasi yang telah dimodelkan; (4) Animasi tiga dimensi, suatu elemen visualisasi untuk menggambarkan konsep-konsep abstrak, khususnya dalam konteks dakwah; (5) Representasi virtual (penciptaan dunia maya): objek atau lingkungan dunia nyata yang direpresentasikan secara digital, memungkinkan mahasiswa terlibat dalam pengalaman praktis dan menghindari pemikiran abstrak di dunia maya; (6) Alat interaktif. Komponen ini berfungsi sebagai alat untuk memfasilitasi interaksi dengan melakukan kegiatan, menggunakan konsep drag and drop (menarik dan meletakkan) atau konsep play and pause (memainkan dan menghentikan sebentar).

2.1.8 Google Sites

Google Sites adalah layanan *website* yang dibuat oleh perusahaan *google*. Layanan ini banyak dimanfaatkan oleh berbagai pengguna karena mudah dibuat dan tidak memungut biaya apapun. Beberapa kegunaan yang dimiliki oleh *Google Sites* dapat dimanfaatkan oleh pengguna internet yaitu sebagai sarana pembelajaran interaktif. Menurut Adzkiya (dalam Darmawan & Islanda, 2023) menyatakan bahwa Situs *Google* ini memiliki banyak keunggulan ini di antaranya sifat dari *google sites* ini yang fleksibel atau mudah digunakan, efisien dalam penggunaan data internet, dan memori ponsel. Dalam pembelajaran fisika, situs *google* sangat membantu untuk menunjang tercapainya tujuan pembelajaran karena dapat menyediakan fitur-fitur yang menarik dan interaktif, salah satunya adalah simulasi praktikum yang bisa dilakukan secara online. Pada *google sites*, guru dapat membuat desain materi pembelajaran, tugas, *link* praktikum virtual, LKPD dan lain

sebagainya. Materi pembelajaran yang dibuat juga dapat divariasikan dalam bentuk video pembelajaran atau video lainnya.

Google sites memiliki beberapa komponen utama yang memungkinkan pengguna membuat dan mengelola situs web dengan mudah. Berikut adalah beberapa komponen kunci dari *Google Sites*:

1. Halaman (*Pages*): Setiap situs terdiri dari beberapa halaman yang dapat ditambahkan dan diorganisir sesuai kebutuhan. Pengguna dapat membuat halaman baru untuk setiap bagian atau topik.
2. *Header*: Bagian atas situs yang biasanya berisi judul situs dan menu navigasi untuk berpindah antarhalaman.
3. *Sidebar*: Bagian samping situs yang dapat berisi menu navigasi tambahan, tautan, atau elemen lainnya untuk membantu pengguna menjelajahi situs.
4. *Footer*: Bagian bawah situs yang dapat berisi informasi tambahan, tautan, atau elemen lainnya. *Footer* seringkali digunakan untuk menyertakan informasi kontak atau tautan ke halaman kebijakan privasi.
5. *Embed*: Fitur untuk menyisipkan atau menyematkan konten eksternal seperti video *YouTube*, formulir *Google*, atau kalender.
6. Tata Letak (*Layouts*): *Google Sites* menyediakan beberapa tata letak atau *layout* yang dapat dipilih untuk memudahkan pengaturan elemen-elemen pada halaman.
7. Formulir *Google* (*Google Forms*): Integrasi formulir *Google* memungkinkan pengguna menambahkan formulir langsung ke situs untuk mengumpulkan informasi dari pengunjung.
8. Penyimpanan *Google Drive*: *Google Sites* terintegrasi dengan *Google Drive*, memungkinkan pengguna menyimpan dan berbagi berbagai jenis *file* seperti dokumen, gambar, dan video.
9. Aksesibilitas Kolaboratif: Pengguna dapat mengundang orang lain untuk berkolaborasi dalam membuat dan mengedit situs *web*, memfasilitasi kerja tim.

2.1.9 E-LKPD model pembelajaran SETS

E-LKPD ini menggunakan model pembelajaran SETS untuk mengajarkan konsep sains dengan menggunakan media pembelajaran yang interaktif dan

menarik (Ghaisani & Setyasto, 2023). E-LKPD ini menggunakan model pembelajaran SETS untuk mengajarkan konsep sains populer. E-LKPD ini berisi materi pembelajaran, tes, dan petunjuk penggunaan yang tersusun melalui sintaks-sintaks pembelajaran yaitu invitasi, eksplorasi, solusi, aplikasi dan pematapan konsep. E-LKPD ini dibuat dalam layanan *google sites* sehingga peserta didik hanya dapat mengaksesnya melalui koneksi internet pada perangkat komputer atau ponsel pintar yang dapat diakses secara *online*. E-LKPD ini menyediakan beberapa fitur menu, *link* laboratorium virtual, tes dan lain sebagainya yang mendukung aktivitas belajar siswa sesuai dengan kompetensi inti dan kompetensi pada materi materi gelombang bunyi dan cahaya.

E-LKPD model pembelajaran SETS dapat dibantu dengan penggunaan laboratorium virtual. Laboratorium virtual merupakan teknologi simulasi komputer yang digunakan untuk menciptakan lingkungan praktikum dan kemampuan penanganan masalah. Beberapa manfaat penggunaan laboratorium virtual dalam pengembangan E-LKPD model pembelajaran SETS adalah memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen virtual yang aman dan efektif, memahami konsep sains dan teknologi dengan cara yang lebih terintegrasi dan aplikatif. Selain itu, memungkinkan guru untuk mengembangkan E-LKPD yang lebih interaktif dan menarik bagi siswa.

2.1.10 Materi Gelombang Bunyi

1. Definisi Gelombang Bunyi

Bunyi merupakan gelombang mekanis jenis longitudinal yang merambat disebabkan karena getaran yang menggetarkan udara di sekitarnya melalui medium udara sampai ke gendang telinga (Jati & Priyambodo, 2013). Getaran udara yang merambat di udara melukiskan perambatan gelombang bunyi di udara. Gelombang itu sebenarnya merupakan variasi tekanan udara secara periodik di sepanjang lintasan perambatannya. Tekanan udara periodik inilah yang menggetarkan selaput gendang telinga.

Karakteristik bunyi berdasarkan mediumnya sebagai berikut.

- a. Gelombang bunyi adalah gelombang mekanik yaitu gelombang yang di dalam perambatannya memerlukan medium perantara. Di udara, laju bunyi bertambah terhadap temperatur.
- b. Gelombang bunyi juga termasuk gelombang longitudinal, gelombang yang terjadi berupa rapatan dan regangan seperti pada Gambar 2 di bawah ini. Medium gelombang bunyi bisa berupa cair, gas atau padat.
- c. Gelombang bunyi tidak dapat merambat di dalam ruang hampa udara. Kecepatan perambatan gelombang bunyi di dalam zat padat lebih cepat dibanding di dalam gas atau udara. Hal ini disebabkan oleh jarak antarmolekul dalam zat padat lebih pendek dibandingkan pada zat cair dan gas sehingga perpindahan energi kinetik lebih cepat terjadi.

2. Resonansi bunyi

Resonansi bunyi merupakan peristiwa ikut bergetarnya suatu benda akibat pengaruh getaran benda lain yang berada di dekatnya dengan frekuensi yang sama. Syarat terjadinya resonansi adalah frekuensi sumber sama dengan frekuensi benda yang bergetar. Setiap benda memiliki frekuensi natural, artinya ketika benda tersebut diberikan aksi berupa apa saja maka frekuensi resonansi benda sama dengan frekuensi natural benda tersebut. Untuk menyelesaikan persoalan tentang resonansi, ada rumus tertentu yang digunakan pada benda-benda tertentu. Resonansi suatu kolom udara yang berada pada sebuah alat bernama pipa organa tertutup mempunyai panjang gelombang $\frac{1}{4} \lambda$, resonansi pertama adalah nada dasar, resonansi kedua adalah nada atas pertama dan seterusnya, sehingga panjang kolom udara dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$l_n = (2n - 1) \frac{1}{4} \lambda \quad (1)$$

Keterangan:

l = panjang kolom udara dihitung dari atas

$n = 1, 2, 3, \dots$

λ = panjang gelombang

3. Perambatan Bunyi

Bunyi merupakan gelombang mekanis yang merambat dan berjenis longitudinal. Selama merambat nilai frekuensi selalu tetap, yang dapat mengubah hanyalah kelajuan dan panjang gelombangnya. Kelajuan rambat gelombang bunyi bergantung pada suhu dan jenis mediumnya.

Tabel 2.2 Kelajuan Bunyi bergantung medium dan suhu

No.	Jenis Medium	Suhu (Celsius)	Cepat rambat bunyi (m/s)
1	Udara	0	331
2	Udara	15	340
3	Air	25	1490
4	Air laut	25	1530
5	Aluminium	20	5100
6	Tembaga	20	3560
7	Besi	20	5130

Sumber: (Edra, 2017)

Berdasarkan Tabel 2.2 tersebut dapat disimpulkan bahwa cepat rambat bunyi akan bertambah apabila suhu medium bertambah atau bahan medium itu lebih rapat.

4. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas. Cepat rambat bunyi tergantung pada sifat-sifat medium rambat, maka bunyi mempunyai cepat rambat yang dipengaruhi oleh dua faktor yaitu:

- a. Kerapatan partikel medium yang dilalui bunyi. Semakin rapat susunan partikel medium maka semakin cepat bunyi merambat, sehingga bunyi merambat paling cepat pada zat padat.
- b. Suhu medium, semakin panas suhu medium yang dilalui maka semakin cepat bunyi merambat.

Cepat rambat bunyi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

Keterangan :

v : cepat rambat bunyi

λ : panjang gelombang bunyi

f : frekuensi bunyi

Cepat rambat bunyi tergantung pada mediumnya:

a. Cepat rambat bunyi di dalam medium gas

Persamaan cepat rambat bunyi di dalam medium gas adalah sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{Mr}}$$

(3)

v = cepat rambat bunyi (m/s)

γ = tetapan Laplace

R = tetapan gas umum (J/mol K)

T = suhu mutlak (K)

Mr = massa molekul relatif (kg/mol)

b. Cepat rambat bunyi di dalam medium zat cair

Persamaan cepat rambat bunyi di dalam medium zat cair adalah sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

(4)

v = cepat rambat bunyi (m/s)

B = modulus Bulk (N/m^2)

ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3)

c. Cepat rambat bunyi di dalam medium zat padat

Persamaan cepat rambat bunyi di dalam medium zat padat adalah sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

(5)

$v = \text{cepat rambat bunyi (m/s)}$

$B = \text{modulus Young (N/m}^2\text{)}$

$\rho = \text{massa jenis zat padat (kg/m}^3\text{)}$

6. Identitas Bunyi

Identitas bunyi dinyatakan dalam 3 hal, yaitu intensitas bunyi, frekuensi bunyi, dan warna bunyi (timbre).

a. Intensitas bunyi

Intensitas bunyi memberikan gambaran besarnya tenaga bunyi (daya) yang menembusi luasan secara normal per satuan waktu. Bunyi berintensitas besar terdengar keras, sebaliknya bunyi terdengar lemah untuk intensitas kecil. Intensitas bunyi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (6)$$

Persamaan di atas menunjukkan intensitas gelombang bunyi di suatu titik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak titik tersebut ke sumber bunyi.

$$I \sim \frac{1}{r^2} \quad (7)$$

Artinya, semakin jauh suatu titik dari sumber bunyi, intensitas gelombang bunyi semakin kecil.

Keterangan:

$I = \text{intensitas gelombang bunyi (watt/m}^2\text{)}$

$P = \text{daya sumber bunyi (watt, joule/s)}$

$A = \text{luas permukaan yang ditembus gelombang bunyi (m}^2\text{)}$

$r = \text{jarak tempat dari sumber bunyi (m)}$

b. Taraf Intensitas Bunyi

Intensitas gelombang bunyi yang dapat terdengar oleh telinga manusia adalah $10^{-12} \text{ watt/m}^2$, disebut intensitas ambang pendengaran (I_0) sampai dengan 1 watt/m^2 . Taraf intensitas bunyi adalah logaritma perbandingan intensitas bunyi (I) dengan intensitas ambang pendengaran (I_0) dalam bentuk :

$$TI = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (8)$$

Keterangan:

TI = taraf intensitas bunyi (**dB** = desibel)

I = intensitas bunyi (**watt/m²**)

I₀ = intensitas ambang pendengaran (**10⁻¹² watt/m²**)

1 bel (B) = 10 desibel (dB)

Jika terdapat sumber bunyi lebih dari satu atau sumber bunyinya banyak, maka taraf intensitas totalnya adalah:

$$TI_n = TI_1 + 10 \log n \quad (9)$$

Keterangan:

TI_n = taraf intensitas oleh n buah sumber bunyi (**dB** = desibel)

n = banyaknya sumber bunyi

TI₁ = taraf intensitas oleh 1 buah sumber bunyi (**dB** = desibel)

c. Frekuensi bunyi

Frekuensi berhubungan dengan tinggi atau rendahnya bunyi. Bunyi terdengar tinggi (melengking) bila frekuensinya besar, dan terdengar rendah (setara dengan bunyi bass) bila frekuensi itu bernilai kecil. Telinga manusia pada umumnya merasa nyaman jika mendengar bunyi hasil paduan dari nada yang sama namun berselisih 1 atau 2 oktaf, sehingga masing-masing nada itu berada pada oktaf bawah, tengah dan atas.

d. Warna bunyi (Timbre)

Warna bunyi memberikan gambaran pengaruh bunyi latar yang mempengaruhi bunyi asli. Timbre merupakan identitas dari sumber bunyi. Timbre pada sumber bunyi akan memiliki pola yang berlainan antrara satu dengan yang lainnya. Timbre memberikan pencirian sumber bunyi, artinya walaupun 2 sumber bunyi pada frekuensi dan intensitas bunyi yang sama namun kita dapat membedakan sumber bunyi itu.

7. Dawai

Gitar merupakan alat musik yang menggunakan dawai sebagai sumber bunyinya. Gitar dapat menghasilkan nada-nada yang berbeda dengan cara memetik bagian tertentu pada senar. Nada yang dihasilkan dengan pola paling sederhana disebut nada dasar, kemudian secara berturut-turut pola gelombang

yang terbentuk menghasilkan nada atas ke-1, nada atas ke-2, nada atas ke-3 dan seterusnya.

Nada dasar terjadi ketika dawai bergetar tetapi kedua ujung dawai yang terikat tidak bebas bergerak. Frekuensi nada dasar juga sering disebut frekuensi harmonik kesatu. Nada dasar terjadi apabila sepanjang dawai terbentuk 2 simpul dan satu perut atau $1/2$ gelombang. Jika panjang dawai (l) dan panjang gelombang (λ) maka dapat dirumuskan $L = \frac{1}{2} \lambda$, dan $\lambda = 2L$. Jika kita padukan dengan rumus frekuensi $f = v/\lambda$ maka kita bisa menemukan frekuensi nada dasar dengan rumus (f_0) dengan rumus:

$$\boxed{f_0 = \frac{v}{2L}} \quad (10)$$

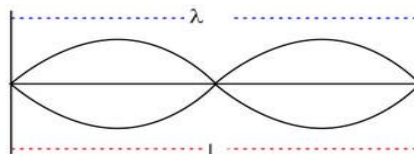
Keterangan:

L = panjang dawai (m)

f_0 = frekuensi nada dasar (Hz)

v = kecepatan bunyi di udara (340 m/s)

Nada atas pertama dihasilkan pada saat dawai atau senar dipetik atau digesek pada posisi $1/4$ dari panjang dari salah satu ujungnya. Frekuensi dari nada ini disebut juga dengan harmonik kedua. Pada saat terjadi nada atas pertama pada dawai terbentuk 3 buah simpul dan 2 buah perut. Perhatikan Gambar 2.1 berikut ini.



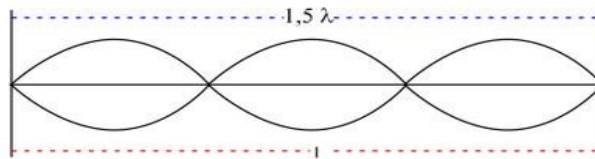
Gambar 2.1 Nada atas ke-1 dawai

Sumber: (Rumushitung, 2014)

Nada atas ke-1 terjadi apabila sepanjang dawai terbentuk 1 gelombang. Tali dengan panjang L membentuk 1λ . $L = 1 \lambda$, maka $\lambda = L$. Jika $f = v/\lambda$ maka frekuensi dari nada atas pertama (f_1) adalah,

$$\boxed{f_1 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}} \quad (11)$$

Nada atas ke-2 terjadi apabila sepanjang dawai terbentuk $1 \frac{1}{2}$ gelombang seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini. Frekuensi ini disebut juga harmonik ketiga. Frekuensi nada atas kedua dihasilkan apabila dawai dipetik pada jarak $1/6$ panjang dawai dari salah satu ujungnya. Pada nada ini terbentuk 3 perut dan 4 simpul. Jumlah simpul selalu jumlah perut ditambah dengan satu. Tali dengan panjang L membentuk $1 \frac{1}{2} \lambda$ atau $3/2 \lambda$. $L = 3/2 \lambda$ maka $\lambda = 2/3 L$.



Gambar 2.2 Nada atas ke-2 dawai

Sumber: (Rumushitung, 2014)

Persamaan frekuensi nada atas ke-2 adalah,

$$f_2 = \frac{3v}{2L}$$

(12)

Berdasarkan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa frekuensi nada atas ke-n adalah sebagai berikut.

$$f_n = (n + 1) \frac{v}{2L}$$

(13)

Frekuensi-frekuensi dan seterusnya disebut frekuensi alami atau frekuensi resonansi sebagai berikut.

$$f_0 = \frac{v}{2L}, f_1 = \frac{v}{L}, f_2 = \frac{3v}{2L}$$

(14)

Perbandingan frekuensi-frekuensi di atas yaitu:

$$f_0 : f_1 : f_2 = 1 : 2 : 3$$

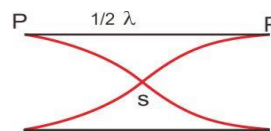
(15)

8. Pipa Organa

Adapun sumber bunyi yang menggunakan kolom udara sebagai sumber getarnya disebut juga pipa organa contohnya pada seruling, terompet, atau piano. Pipa organa dibagi menjadi pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup.

a. Pipa Organa Terbuka

Pipa organa terbuka adalah tabung yang kedua ujungnya terbuka sehingga pada kedua ujung pipa selalu terbentuk perut gelombang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembentukan pola gelombang longitudinal pada kedua ujung merupakan renggangan. Pada pipa organa terbuka, memiliki simpul terbuka simpangan di kedua ujungnya dan paling tidak memiliki satu simpul tertutup agar terjadi gelombang berdiri di dalam pipa organa. Satu simpul tertutup berhubungan dengan frekuensi dasar tabung/pipa organa. Dengan jarak antara simpul (l) tertutup/terbuka sama dengan setengah panjang gelombang (λ) sehingga dapat dituliskan persamaan (l) $= l/2\lambda$. Dengan demikian frekuensi dasar (f_0) pipa organa sama dengan $f_0 = v/\lambda = v/2l$, di mana cepat rambat bunyi (v) di udara biasanya sama dengan 340 m/s.



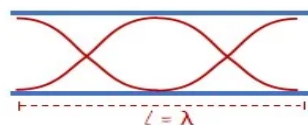
Gambar 2.2 Nada dasar pipa organa terbuka

Sumber: (Junaedi, 2014)

Pada nada dasar, jika sepanjang pipa organa terdiri dari dua perut dan satu simpul, maka akan terbentuk $1/2$ gelombang. Nada yang dihasilkannya disebut nada dasar seperti pada Gambar 2.3 di atas. $L = 1/2 \lambda$ maka $\lambda = 2L$, di mana cepat rambat bunyi (v) di udara biasanya sama dengan 340 m/s sehingga persamaan frekuensi nada dasar untuk pipa organa terbuka adalah:

$$\boxed{f_0 = \frac{v}{2L}} \quad (16)$$

Pada atas ke-1, jika sepanjang pipa organa terdiri dari tiga perut dan dua simpul, maka akan terbentuk 1 gelombang. Naka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke-1 seperti pada Gambar 2.4 di bawah ini.



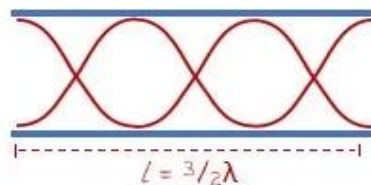
Gambar 2.3 Nada atas ke 1 pipa organa terbuka

Sumber: (idschool, 2024)

Pipa organa dengan panjang L , dimana $L = 1 \lambda$ maka $\lambda = L$. Cepat rambat bunyi (v) di udara biasanya sama dengan 340 m/s, maka frekuensi nada atas ke-1 adalah:

$$f_1 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L} \quad (17)$$

Pada nada atas ke-2, jika sepanjang pipa organa terdiri dari empat perut dan tiga simpul, maka akan terbentuk $3/2$ gelombang. Nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke-2 seperti pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.4 Nada atas ke 2 pipa organa terbuka

Sumber: (idschool, 2024)

Pipa organa dengan panjang L , dimana $L = 3/2 \lambda$ maka $\lambda = 2/3 L$. Cepat rambat bunyi (v) di udara biasanya sama dengan 340 m/s, maka frekuensi nada atas ke-2 yaitu:

$$f_1 = \frac{3v}{2L} \quad (18)$$

Berdasarkan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa frekuensi nada atas ke- n pada pipa organa terbuka dapat ditentukan dengan rumus:

$$f_n = (n + 1) \frac{v}{2L} \quad (19)$$

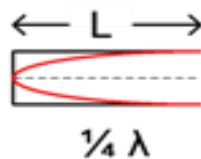
Perbandingan frekuensi nada-nada yang dihasilkan oleh sumber bunyi berupa pipa organa terbuka dengan frekuensi nada dasarnya merupakan bilangan bulat dengan perbandingan:

$$f_0 : f_1 : f_2 = 1 : 2 : 3 \quad (20)$$

b. Pipa Organ Tertutup

Pipa organa tertutup adalah sebuah kolom udara atau tabung yang salah satu ujung penampangnya tertutup (menjadi simpul karena tidak bebas bergerak) dan

ujung lainnya terbuka (menjadi perut). Berikut ini adalah nada yang dihasilkan oleh pipa organa tertutup. Pada nada dasar, jika sepanjang pipa organa terdiri dari satu perut dan satu simpul, maka akan terbentuk $1/4$ gelombang. Nada yang dihasilkannya disebut nada dasar seperti pada Gambar 2.6 di bawah ini. Panjang kolom udara (L) adalah $L = \frac{1}{4} \lambda$ maka $\lambda = 4L$. Cepat rambat bunyi (v) di udara biasanya sama dengan 340 m/s.



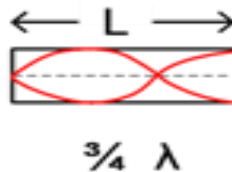
Gambar 2.5 Nada dasar pipa organa tertutup

Sumber: (Junaedi, 2014)

Persamaan pipa organa tertutup untuk nada dasar adalah:

$$\boxed{f_0 = \frac{v}{4L}} \quad (21)$$

Pada nada ke-1, jika sepanjang pipa organa terdiri dari dua perut dan dua simpul, maka akan terbentuk $3/4$ gelombang. Nada yang dihasilkannya disebut nada dasar seperti pada Gambar 2.7 di bawah ini. Panjang kolom udara (L) adalah $L = \frac{3}{4} \lambda$ maka $\lambda = \frac{4}{3}L$. Cepat rambat bunyi (v) di udara biasanya sama dengan 340 m/s.



Gambar 2.6 Nada atas ke 1 pipa organa tertutup

Sumber: (Junaedi, 2014)

Persamaan pipa organa tertutup untuk nada atas ke-1 adalah:

$$\boxed{f_0 = \frac{3v}{4L}} \quad (22)$$

Berdasarkan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa frekuensi nada atas ke-n pada pipa organa tertutup dapat ditentukan dengan rumus:

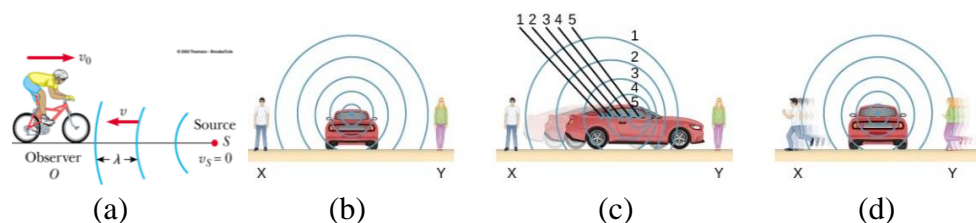
$$f_n = (2n + 1) \frac{v}{4L} \quad (23)$$

Perbandingan frekuensi nada-nada yang dihasilkan oleh sumber bunyi berupa pipa organa tertutup dengan frekuensi nada dasarnya:

$$f_0 : f_1 : f_2 = 1 : 2 : 3 \quad (24)$$

8. Efek Doppler

Efek Doppler adalah peristiwa naik atau turunnya frekuensi gelombang bunyi yang terdengar oleh penerima bunyi (pendengar) dalam 3 keadaan, yaitu ketika sumber bunyi bergerak mendekat atau menjauhi pendengar, ketika pendengar mendekat atau menjauh terhadap sumber bunyi serta ketika pendengar dan sumber bunyi bergerak saling mendekat atau menjauh satu sama lainnya. Efek Doppler pertama kali diajukan pada tahun 1842 oleh fisikawan Austria *Johann Christian Doppler* yang melakukan eksperimen pada sumber bergerak dan pengamat bergerak, meskipun percobaan tersebut sepenuhnya belum berhasil. Kemudian Efek Doppler diuji kembali pada tahun 1845 melalui suatu percobaan yang menggunakan sebuah lokomotif untuk menarik suatu mobil terbuka dengan beberapa terompet yang dilakukan oleh *Buys Ballot* di Belanda. Contoh Efek Doppler dapat dilihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.7 Gelombang bunyi efek doppler

Sumber: (J.Ling dkk., 2012)

Pada Gambar 2.8 di atas, (a) Seseorang yang sedang mengendarai sepeda berperan sebagai *observer* mendengar bunyi yang dipancarkan oleh *source*/sumber. Bunyi tersebut merambat sejauh lamda (λ) pada lintasan yang sama dengan lintasan sepeda. Lamda ini adalah panjang gelombang bunyi yang merambat dari sumber

bunyi. (b) Ketika sumber, pengamat, dan udara diam, panjang gelombang (λ) dan frekuensinya sama ke segala arah dan ke semua pengamat. Pada Gambar (c) Bunyi yang dihasilkan oleh suatu sumber yang bergerak ke kanan menyebar dari titik di mana bunyi tersebut dipancarkan. Panjang gelombangnya (λ) diperkecil, dan akibatnya frekuensinya diperbesar sesuai arah gerakannya, sehingga pengamat di sebelah kanan mendengar suara dengan nada lebih tinggi. Hal sebaliknya terjadi pada pengamat di sebelah kiri, dimana panjang gelombang (λ) diperbesar dan frekuensi diperkecil. Pada Gambar (d) Efek yang sama dihasilkan ketika pengamat bergerak relatif terhadap sumber. Gerakan menuju sumber meningkatkan frekuensi ketika pengamat di sebelah kanan melewati lebih banyak puncak gelombang dibandingkan jika pengamat diam. Pergerakan menjauhi sumber akan mengurangi frekuensi ketika pengamat di sebelah kiri melewati puncak gelombang yang lebih sedikit dibandingkan jika pengamat diam.

Gelombang bunyi dapat merambat pada medium udara dimana rambatan gelombang-gelombang tersebut akan digunakan sebagai kerangka acuan. Oleh karena itu, kecepatan suatu sumber gelombang bunyi dan pendeteksi dapat diukur dengan kecepatan relatif terhadap medium udara. Jika pendengar atau sumber sedang bergerak atau bergerak bersama, frekuensi f yang dipancarkan dan frekuensi f' yang dideteksi berkaitan dengan persamaan berikut.

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S} \quad (25)$$

Keterangan:

f' = frekuensi pendengar (Hz)

f = frekuensi sumber bunyi (Hz)

v_D = kecepatan pendengar (m/s)

v_S = kecepatan sumber bunyi (m/s)

v = cepat rambat udara (m/s)

Pilihan tanda tambah dan kurang pada persamaan di atas ditetapkan dengan aturan bahwa ketika gerak dari pendengar atau sumber bunyi adalah mendekati satu sama lainnya, tanda pada kecepatannya harus menunjukkan suatu peningkatan frekuensi. Sedangkan ketika pendengar atau sumber bunyi menjauhi dari yang

lainnya, tanda pada kecepatannya harus menunjukkan suatu penurunan frekuensi. Jika pendengar bergerak menuju sumber, gunakan tanda tambah pada pembilang di Pers.25 untuk mendapatkan peningkatan frekuensi. Jika bergerak menjauh, gunakan tanda kurang pada pembilang untuk penurunan frekuensi. Jika pendengar diam, gantikan v_D dengan 0. Jika sumber bergerak menuju pendengar, gunakan tanda kurang pada penyebut di Pers.25 untuk mendapatkan peningkatan frekuensi. Jika bergerak menjauh, gunakan tanda tambah pada penyebut untuk mendapatkan penurunan frekuensi. Jika sumber diam, gantikan v_S dengan 0.

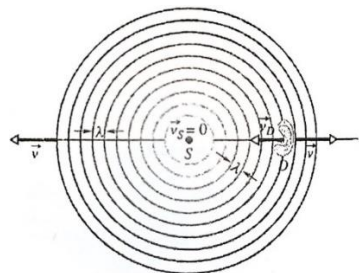
Dalam rumus efek Doppler ada beberapa perjanjian tanda sebagai berikut:

- v_S bernilai positif (+) jika sumber bunyi menjauhi pendengar
- v_S bernilai negatif (−) jika sumber bunyi mendekati pendengar
- v_P bernilai positif (+) jika pendengar mendekati sumber bunyi
- v_P bernilai negatif (−) jika pendengar menjauhi sumber bunyi

Keadaan dalam efek Doppler terbagi menjadi 3 macam, yaitu keadaan dimana pendengar bergerak dan sumber diam, pendengar diam dan sumber bergerak, serta pendengar dan sumber saling bergerak.

- Pendengar bergerak dan sumber diam

Ketika pendengar bergerak relatif terhadap udara dan sumber bunyi diam, gerak tersebut mengubah frekuensi. Pendengar menangkap muka gelombang dan mengubah frekuensi terdeteksi dari gelombang bunyi. Peristiwa tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 2.9 gelombang sferis berikut ini.



Gambar 2.8 Gelombang sferis pada pendengar bergerak dan sumber bunyi diam

Sumber: (Halliday dkk, 2010)

Pada Gambar 2.9 di atas, sebuah pendengar (D) digambarkan dengan sebuah telinga yang sedang bergerak pada kecepatan v_D menuju suatu sumber (S) diam yang memancarkan gelombang sferis, dengan panjang gelombang (λ) dan frekuensi (f) merambat pada kecepatan v di udara. Muka gelombang diilustrasikan dengan jarak satu panjang gelombang dengan muka gelombang terdekat. Frekuensi yang diterima oleh pendengar D adalah kecepatan dimana D menangkap muka gelombang. Jika D diam maka kecepatan tersebut adalah f , tetapi karena D bergerak menuju muka gelombang maka kecepatan penangkapan menjadi lebih besar. Oleh karena itu, frekuensi terdeteksi f' menjadi lebih besar daripada f .

Ketika situasi pendengar adalah diam, pada waktu (t) muka gelombang bergerak ke kanan sejauh vt . Jumlah panjang gelombang pada jarak vt tersebut adalah jumlah panjang gelombang yang ditangkap oleh pendengar pada waktu t , sehingga besarnya adalah vt/λ . Pada situasi ini, frekuensi yang diterima oleh pendengar adalah frekuensi yang dipancarkan oleh sumber bunyi. Kecepatan pendengar menangkap panjang gelombang dimana frekuensi f dideteksi oleh D dapat didefinisikan pada persamaan berikut.

$$f = \frac{vt/\lambda}{t} = \frac{v}{\lambda} \quad (26)$$

Kemudian ketika pendengar bergerak pada arah berlawanan terhadap kecepatan muka gelombang, dimana pada waktu t muka gelombang bergerak ke kanan sejauh vt tetapi pendengar bergerak ke kiri sejauh $v_D t$ jarak yang ditempuh muka gelombang relatif terhadap pendengar adalah $vt + v_D t$. Jumlah panjang gelombang pada jarak relatif $vt + v_D t$ tersebut adalah jumlah panjang gelombang yang ditangkap oleh pendengar pada waktu t dan besarnya adalah $(vt + v_D t)/\lambda$. Kecepatan pendengar menangkap muka gelombang pada situasi ini adalah frekuensi f' pada persamaan berikut.

$$f' = \frac{vt + v_D t/\lambda}{t} = v + v_D/\lambda \quad (27)$$

Berdasarkan Pers. 25, diperoleh $f = \frac{v}{\lambda}$ maka $\lambda = v/f$ kemudian Pers. 27 menjadi

$$f' = \frac{v + v_D}{v/f} = f \frac{v + v_D}{v} \quad (28)$$

Frekuensi yang dideteksi oleh pendengar jika bergerak menjauhi sumber bunyi memiliki cara yang sama dengan situasi di atas. Pada situasi ini, muka gelombang merambat sejauh $v t - v_D t$ relatif terhadap waktu t sehingga frekuensi f' dapat didefinisikan pada persamaan berikut.

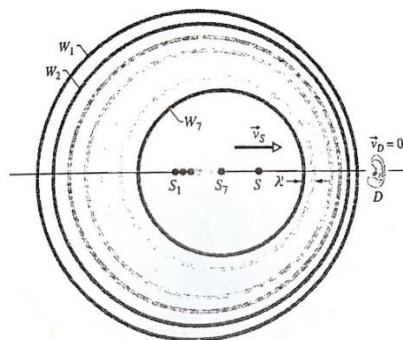
$$f' = f \frac{v - v_D}{v} \quad (29)$$

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa persamaan Efek Doppler ketika pendengar bergerak terhadap sumber bunyi yang diam adalah sebagai berikut.

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v} \quad (30)$$

b. Sumber bunyi bergerak dan pendengar diam

Ketika sumber bunyi bergerak relatif terhadap udara dan pendengar diam, gerak tersebut mengubah panjang gelombang dari gelombang bunyi. Oleh karena itu, frekuensi yang terdeteksi akan berubah. Peristiwa tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.9 Gelombang sferis pada sumber bunyi bergerak dan pendengar diam

Sumber: (Halliday dkk., 2010)

Pada Gambar 2.10 di atas, sumber bunyi bergerak mendekati pendengar pada laju v_s . Gerak sumber bunyi mengubah panjang gelombang dari gelombang bunyi yang dipancarkan. Hal ini berpengaruh terhadap frekuensi yang diterima oleh pendengar. Untuk melihat perubahan tersebut, misalkan $T = (1/f)$ adalah waktu antara pancaran dari sembarang pasangan muka gelombang terdekat W_1 dan W_2 . Selama T , muka gelombang W_1 bergerak sejauh vT dan sumber bergerak sejauh $v_s T$. Pada akhir waktu T , muka gelombang W_2 dipancarkan. Pada arah yang sama

dengan gerak sumber, jarak antara W_1 dan W_2 yang merupakan panjang gelombang λ' dari gelombang yang bergerak pada arah tersebut adalah $vt - v_s T$. Jika pendengar mendekati gelombang tersebut, pendengar menerima frekuensi f' sebagai berikut. ($f' > f$)

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{vt - v_s T} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} = f \frac{v}{v - v_s} \quad (31)$$

Pada arah berlawanan yang diambil oleh sumber bunyi, panjang gelombang λ' dari gelombang adalah $vt + v_s T$. Jika pendengar mendeteksi gelombang-gelombang tersebut, pendengar mendeteksi frekuensi f' adalah sebagai berikut. ($f' < f$)

$$f' = f \frac{v}{v + v_s} \quad (32)$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa persamaan Efek Doppler pada sumber bunyi bergerak terhadap pendengar yang diam adalah sebagai berikut.

$$f' = f \frac{v}{v \pm v_s} \quad (33)$$

c. Persamaan Efek Doppler Umum

Persamaan efek Doppler umum berlaku ketika pendengar dan sumber bunyi bergerak, pendengar diam dan sumber bunyi diam, serta sumber bunyi diam dan pendengar bergerak. Penurunan persamaan Efek Doppler umum dapat dilakukan dengan menggantikan f dalam Pers. 30 (frekuensi sumber) dengan f' pada Pers. 33 (frekuensi yang berkaitan dengan gerak pendengar). Hasilnya adalah Pers. 25 untuk persamaan Efek Doppler umum.

2.1.11 Materi Cahaya

Cahaya termasuk gelombang elektromagnet yang tidak memerlukan medium perambatan sehingga dapat merambat melalui ruang hampa. Berikut sifat-sifat cahaya sebagai gelombang.

1. Pemantulan cahaya

Cahaya yang mengenai permukaan kasar akan mengalami pemantulan baur sehingga cahaya dipantulkan ke berbagai arah (menyebarkan), jika gelombang cahaya mengenai permukaan rata, misalnya cermin maka cahaya akan dipantulkan secara teratur.

a. Pemantulan pada cermin datar

Permukaan cermin datar rata sehingga cahaya yang mengenainya akan dipantulkan secara teratur sifat bayangan pada cermin datar adalah maya, tegak, sama besar, berkebalikan, dan jarak benda ke cermin sama dengan jarak bayangan ke cermin.

b. Pemantulan pada cermin cekung

Cermin cekung memiliki permukaan melengkung ke dalam yang bersifat mengumpulkan cahaya (konvergen). Hubungan antara jarak benda, jarak bayangan, dan titik fokus pada cermin cekung adalah sebagai berikut.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (34)$$

Keterangan:

f = titik fokus cermin cekung (m)

s = jarak benda dengan cermin cekung (m)

s' = jarak bayangan dengan cermin cekung (m)

Jika cermin cekung, maka f bernilai positif (+), jika S' (+) maka bayangan nyata, dan jika S' (-) maka bayangan maya. Untuk menghitung nilai jari-jari kelengkungan (R) maka menggunakan rumus berikut ini:

$$R = 2f \quad (35)$$

Untuk menghitung pembesaran bayangan (M) maka menggunakan rumus berikut ini:

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h} \quad (36)$$

Keterangan:

h = tinggi benda pada cermin

h' = tinggi bayangan pada cermin

Pemantulan pada cermin cekung menghasilkan sinar istimewa, yaitu sebagai berikut.

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui fokus.
- 2) Sinar datang melalui fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.
- 3) Sinar datang melalui pusat kelengkungan akan dipantulkan kembali melalui titik pusat kelengkungan cermin.

c. Pemantulan pada cermin cembung

Permukaan cermin cembung berbentuk melengkung seperti bagian luar bola. Perpaduan sinar-sinar istimewa pada cermin cembung menghasilkan bayangan maya, tegak, dan diperkecil. Letak bayangan pada cermin cembung selalu di belakang cermin. Hubungan antara jarak benda, jarak bayangan, dan titik fokus pada cermin cembung adalah sebagai berikut.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (37)$$

Keterangan:

f = titik fokus cermin cekung (m)

s = jarak benda dengan cermin cekung (m)

s' = jarak bayangan dengan cermin cekung (m)

Jika cermin cembung, maka f bernilai negatif (-), jika S' (+) maka bayangan nyata, dan jika S' (-) maka bayangan maya. Untuk menghitung nilai jari-jari kelengkungan (M) maka menggunakan rumus berikut ini:

$$R = 2f \quad (38)$$

Untuk menghitung pembesaran bayangan (M) maka menggunakan rumus berikut ini:

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h} \quad (39)$$

Keterangan:

h = tinggi benda pada cermin

h' = tinggi bayangan pada cermin

Sinar sinar istimewa pada cermin cembung adalah sebagai berikut.

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah berasal dari fokus.
- 2) Sinar datang seolah-olah menuju fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.
- 3) Sinar datang yang menuju pusat kelengkungan cermin cembung akan dipantulkan seolah-olah berasal dari pusat kelengkungan.

11. Pembiasan cahaya

Pembiasan (refraksi) cahaya terjadi saat cahaya mengalami perubahan arah rambat cahaya karena perubahan percepatan karena melewati dua medium

transparan dengan kerapatan berbeda. Hukum pembiasan cahaya berlaku saat cahaya melalui medium transparan, misalnya lensa.

a. Pembiasan pada lensa cekung

Bagian tengah pada lensa cekung (lensa negatif) lebih tipis daripada bagian ujung-ujungnya lensa cekung bersifat menyebarkan sinar atau divergen. sinar-sinar istimewa digunakan untuk menentukan letak dan sifat bayangan yang dihasilkan. Bayangan yang terbentuk dari pembiasan lensa cekung untuk berbagai letak benda adalah selalu maya, tegak, diperkecil, dan letak bayangannya di depan lensa.

b. Pembiasan pada lensa cembung

Bagian kedua ujung lensa cembung lensa positif bentuknya tipis lensa cembung bersifat mengumpulkan sinar konvergen.

12. Interferensi cahaya

Interferensi cahaya adalah paduan dua gelombang atau lebih menjadi satu gelombang baru interferensi terjadi jika terpenuhinya dua syarat berikut ini.

- a. Kedua gelombang cahaya harus koheren, dalam arti bahwa kedua gelombang cahaya harus memiliki beda fase yang selalu tetap, oleh sebab itu keduanya harus memiliki frekuensi yang sama.
- b. Kedua gelombang cahaya harus memiliki amplitudo yang hampir sama.

Dua gelombang dikatakan bersifat koheren jika beda fasenya tetap. Interferensi dapat terjadi pada celah ganda dan lapisan tipis.

a. Interferensi celah ganda

Interferensi celah ganda terjadi ketika cahaya melewati dua celah sempit. Saat cahaya melewati dua celah sempit, gelombang cahaya akan saling berpadu dan membentuk gelombang cahaya gabungan. Hal ini disebabkan karena gelombang-gelombangnya menempuh panjang lintasan yang berbeda. Perbedaan panjang lintasan ini mengakibatkan gelombang-gelombang mengalami perbedaan fase dan menciptakan pola interferensi. Perbedaan fase ini ada yang saling menguatkan, sehingga menghasilkan interferensi konstruktif atau pola maksimum, dan ada yang saling melemahkan, sehingga menghasilkan interferensi destruktif atau pola minimum.

Pola maksimum atau pola terang terjadi jika beda lintasan optik merupakan kelipatan setengah bulat panjang gelombang, pada interferensi celah ganda dirumuskan pada persamaan berikut.

$$d \cdot \sin\theta = m \cdot \lambda \quad (40)$$

$$\text{atau} \quad \frac{dp}{L} = m\lambda \quad (41)$$

Keterangan:

m = orde interferensi (1, 2, 3, ...)

d = jarak antar celah (m)

λ = panjang gelombang (m)

p = jarak antara garis gelap/terang ke- n dari pusat atau antara 2 garis terang/gelap (m)

L = jarak antara celah ke layar (m)

Pola minimum atau pola gelap terjadi jika beda lintasan optik merupakan kelipatan setengah bulat panjang gelombang, pada interferensi celah ganda dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$d \cdot \sin\theta = (m - \frac{1}{2})\lambda \quad (42)$$

$$\text{atau} \quad \frac{dp}{L} = (m - \frac{1}{2})\lambda \quad (43)$$

Keterangan:

m = orde interferensi (1, 2, 3, ...)

d = jarak antar celah (m)

λ = panjang gelombang (m)

p = jarak antara garis gelap/terang ke- n dari pusat atau antara 2 garis terang/gelap (m)

L = jarak antara celah ke layar (m)

b. Interferensi lapisan tipis

Interferensi lapisan tipis dapat kita jumpai pada gelembung sabun yang menghasilkan warna seperti pelangi. Mekanisme interferensinya adalah cahaya yang dipantulkan dari dalam gelembung harus bergerak lebih jauh daripada cahaya yang dipantulkan dari luar atau permukaan gelembung. Pada kondisi seperti ini,

mereka saling mengganggu dan memperkuat cahaya putih, sehingga terbentuk deh warna-warna indah seperti pelangi yang berputar-putar.

Karena perubahan fase, interferensi konstruktif/maksimum terjadi jika kedua sinar S1 dan S2 menghasilkan beda lintasan ($2nd \cos r$) yang sama dengan kelipatan bulat dari setengah panjang gelombang (λ). Sementara itu, interferensi bersifat destruktif terjadi jika hasil lintasan kedua sinar sama dengan kelipatan bulat dari panjang gelombang (λ).

Persamaan interferensi konstruktif/maksimum adalah sebagai berikut.

$$2nd = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (44)$$

Persamaan interferensi minimum adalah sebagai berikut

$$2nd \cos r = m \cdot \lambda \quad (45)$$

Keterangan:

m = orde interferensi (0, 1, 2, 3, ...)

d = tebal lapisan tipis (m)

λ = panjang gelombang (m)

r = sudut bias

n = indeks bias tipis

r = sudut bias

13. Difraksi cahaya

Difraksi terjadi jika cahaya mengalami pelenturan gelombang ketika melalui celah sempit. Difraksi terjadi saat lebar celah lebih kecil daripada panjang gelombang sehingga gelombang cahaya melebar di tepi celah.

a. Difraksi celah tunggal

Difraksi celah tunggal menghasilkan pola gelap dan terang pola gelap terjadi karena difraksi minimum, sedangkan pola terang karena terjadi difraksi maksimum dengan ketentuan sebagai berikut.

$$d \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad (\text{pola gelap}) \quad (46)$$

atau menggunakan rumus berikut ini:

$$\frac{dy}{L} = n \cdot \lambda \quad (47)$$

$$d \cdot \sin\theta = (n - \frac{1}{2})\lambda \quad (\text{pola terang}) \quad (48)$$

atau menggunakan rumus berikut ini:

$$\frac{dy}{L} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad (49)$$

Keterangan:

$n = 1, 2, 3, \dots$

$d =$ lebar celah (m)

$\theta =$ sudut difraksi

$\lambda =$ panjang gelombang

$y =$ jarak ke terang pusat (m)

$L =$ jarak antara celah dengan layar (m)

b. Difraksi kisi

Kisi difraksi tersusun atas celah sejajar dengan jumlah sangat banyak dan jaraknya sama. Jika banyaknya garis celah persatuan panjang misalnya cm adalah N maka tetapan kisi d dapat diperoleh dengan rumus berikut.

$$d = \frac{1}{N} \quad (50)$$

Jika cahaya dilewatkan pada kisi dan diarahkan ke layar maka layar akan tampak garis terang (maksimum) dengan ketentuan sebagai berikut.

$$d \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad (51)$$

atau menggunakan rumus berikut ini:

$$\frac{dy}{L} = n \cdot \lambda \quad (52)$$

Dimana $n = 1, 2, 3, \dots$

Garis gelap (minimum) dengan ketentuan sebagai berikut.

$$d \cdot \sin\theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad (53)$$

atau menggunakan rumus berikut ini:

$$\frac{dy}{L} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad (54)$$

Keterangan:

$n = 1, 2, 3, \dots$

$d =$ lebar celah (m)

$\theta =$ sudut difraksi

$\lambda =$ panjang gelombang (m)

y = jarak ke terang pusat (m)

L = jarak antara celah dengan layar (m)

14. Dispersi cahaya

Warna pelangi merupakan peristiwa penguraian cahaya yang dikenal sebagai istilah dispersi. Dispersi adalah peristiwa penguraian cahaya polikromatik (putih) menjadi cahaya-cahaya monokromatik (merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu) pada prisma lewat pembiasan atau pembelokan. Hal ini membuktikan bahwa cahaya putih terdiri dari harmonisasi berbagai cahaya warna dengan berbeda-beda panjang gelombang. Gejala dispersi cahaya juga bisa diamati dari sebuah prisma. Seberkas sinar menuju prisma dengan sudut panjang i , sinar tersebut kemudian meninggalkan prisma dengan sudut keluar r' . Besarnya sudut penyimpangan antara sinar yang menuju prisma dengan sinar yang meninggalkan prisma disebut sudut deviasi. Besar sudut deviasi tergantung pada besar kecilnya sudut datang.

Sudut deviasi terkecil disebut deviasi minimum, terjadi jika $i = r'$ serta $i' + r = \beta$. Besarnya sudut deviasi pada prisma dirumuskan sebagai berikut.

$$\delta_m = i' + r' - \beta \quad (55)$$

Keterangan:

δ_m = sudut deviasi minimum

β = sudut pembias prisma

15. Polarisasi cahaya

Polarisasi cahaya adalah peristiwa terserapnya sebagian atau seluruh arah getar gelombang. Berbeda dengan interferensi dan difraksi yang dapat terjadi baik pada gelombang transversal maupun longitudinal, polarisasi hanya terjadi pada gelombang transversal polarisasi ada 4 yaitu polarisasi karena refleksi, polarisasi karena absorpsi selektif, polarisasi karena pembiasan ganda, dan polarisasi karena hamburan.

a. Polarisasi karena refleksi

Pemantulan akan menghasilkan cahaya terpolarisasi jika sinar pantul dan sinar biasanya membentuk sudut 90° . Arah getar sinar pantul yang terpolarisasi akan sejajar dengan bidang pantul. Oleh karena itu sinar pantul tegak lurus sinar bias,

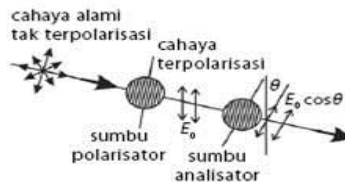
berlaku $i_p + r = 90^\circ$ atau $r = 90^\circ - i_p$. Dengan demikian, berlaku pula persamaan berikut.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_p}{\sin i_r} = \frac{\sin i_p}{\sin(90^\circ - i_p)} = \frac{\sin i_p}{\cos i_p} = \tan i_p$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \tan i_p \quad (56)$$

b. Polarisasi karena absorpsi selektif

Polarisasi karena absorpsi selektif dapat terjadi dengan bantuan kristal polaroid. Bahkan polaroid bersifat meneruskan cahaya dengan arah vektor tertentu dan menyerap cahaya dengan arah getar yang lain. Cahaya yang diteruskan adalah cahaya yang arah getarnya sejajar dengan sumbu polarisasi polaroid.



Gambar 2.10 Dua buah polaroid

Sumber: (Pendidikan Fisika FMIPA UNY, 2013)

Pada Gambar 2.11 di atas, terdapat dua polaroid pertama disebut polarisator dan polaroid kedua disebut analisator dengan sumbu transmisi berbentuk sudut teta. Seberkas cahaya alami menuju ke polarisator. Cahaya yang dipolarisasi secara vertikal yaitu hanya komponen medan listrik yang sejajar sumbu transmisi. Selanjutnya cahaya terpolarisasi menuju analisator. Di analisator semua komponen yang tegak lurus sumbu transmisi analisator diserap, hanya komponen E yang sejajar sumbu analisator diteruskan. Kuat medan listrik yang diteruskan analisator dapat dituliskan sebagai berikut.

$$E_2 = E \cos \theta \quad (57)$$

Jika cahaya alami tidak terpolarisasi yang jatuh pada polaroid pertama (polarisator) memiliki intensitas i , maka cahaya terpolarisasi yang melewati polarisasi tersebut sebagai berikut.

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 \quad (58)$$

Cahaya dengan intensitas i ini kemudian menuju analisator dan akan keluar dengan intensitas yang dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$I_2 = I^1 \cos^2 \theta = \frac{1}{2} I_0 \cdot \cos^2 \theta \quad (59)$$

c. Polarisasi karena pembiasaan ganda

Jika berkas kaca dilewatkan pada kaca, kelajuan cahaya yang keluar akan sama ke segala arah. Hal ini karena kaca bersifat homogen, indeks biasnya hanya memiliki satu nilai. Namun bahan-bahan kristal tertentu misalnya kalsit dan kuarsa, kelajuan cahaya di dalamnya tidak seragam karena bahan-bahan itu memiliki dua nilai indeks (*birefringence*).

Cahaya yang melalui bahan dengan indeks bias ganda akan mengalami pembiasan dalam dua arah yang berbeda. Sebagian berkas akan memenuhi hukum snelius (disebut sebagai sinar biasa), sedangkan sebagian yang lain tidak memenuhi hukum snelius (disebut berkas sinar istimewa).

d. Polarisasi karena hamburan

Warna biru langit merupakan contoh penerapan hamburan cahaya yang selalu bisa diamati setiap hari. Jika cahaya dilewatkan pada suatu medium partikel-partikel medium, akan menyerap dan memancarkan kembali sebagai cahaya itu. Penyerapan dan pemancaran kembali cahaya oleh partikel-partikel medium ini dikenal sebagai fenomena hamburan.

Pada peristiwa hamburan, cahaya yang panjang gelombangnya lebih pendek cenderung mengalami hamburan dengan intensitas yang besar. Cahaya biru memiliki panjang gelombang lebih pendek daripada cahaya merah, maka cahaya itulah yang lebih banyak dihamburkan dan cahaya itu yang sampai ke mata.

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Pada bagian ini penulis menjelaskan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Terdapat beberapa penelitian yang relevan, diantaranya sebagai berikut:

2.2.1 Penelitian yang dilakukan oleh Ariyansah & Sulistyowati yang menghasilkan E-LKPD praktikum fisika pada materi gerak harmonik sederhana berbantuan aplikasi *phypox* untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik. Hal yang relevan dengan penelitian penulis adalah sama-sama mengembangkan media pembelajaran E-LKPD praktikum laboratorium virtual dengan desain

penelitian yang digunakannya yakni menggunakan desain penelitian *Research and Development* (R&D) dan model ADDIE (*analysis, design, development, implementation, evaluation*) (Ariyansah & Sulistyowati, 2021). Perbedaan dengan penelitian penulis yaitu penulis mengembangkan E-LKPD pada materi gelombang bunyi.

2.2.2 Penelitian yang dilakukan oleh Fauzi dkk yang menghasilkan E-LKPD berbasis *Science, Environment, Technology and Society* (SETS) pada materi dinamika rotasi dan keseimbangan benda tegar kelas XI SMA/MA (Fauzi dkk, 2019). Hal yang relevan dengan penelitian penulis adalah sama-sama mengembangkan media pembelajaran berbasis *Science, Environment, Technology and Society* (SETS) dengan desain penelitian yang digunakannya yakni menggunakan desain penelitian *Research and Development* (R&D). Perbedaan dengan penelitian penulis yaitu penulis mengembangkan E-LKPD pada materi gelombang bunyi dengan desain penelitian model ADDIE (*analysis, design, development, implementation, evaluation*).

2.2.3 Penelitian yang dilakukan oleh Bungkuran dkk yang menghasilkan bahan ajar pada materi gelombang bunyi (Bungkuran dkk, 2021). Hal yang relevan dengan penelitian penulis adalah sama-sama mengembangkan media pembelajaran dalam materi fisika gelombang bunyi dengan desain penelitian yang digunakannya yakni menggunakan desain penelitian *Research and Development* (R&D). Perbedaan dengan penelitian penulis yaitu penulis mengembangkan E-LKPD berbasis model SETS dengan desain penelitian model ADDIE (*analysis, design, development, implementation, evaluation*).

2.2.4 Penelitian yang dilakukan oleh Firdaus dkk yang menghasilkan pengembangan multimedia interaktif berbasis pendekatan SETS untuk meningkatkan kemampuan berfikir siswa Sekolah Dasar (SD). Hal yang relevan dengan penelitian penulis adalah sama-sama mengembangkan media pembelajaran berbasis pendekatan SETS dengan desain penelitian yang digunakannya yakni menggunakan desain penelitian *Research and Development* (R&D) (Firdaus dkk, 2020). Perbedaan dengan penelitian penulis yaitu penulis mengembangkan E-LKPD pada laboratorium virtual

pada tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA/MA) dengan desain penelitian model ADDIE (*analysis, design, development, implementation, evaluation*).

2.2.5 Penelitian yang dilakukan oleh Sukmawati dkk yang menghasilkan pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis web pada materi program linear dengan metode *drill and practice*. Hal yang relevan dengan penelitian penulis adalah sama-sama mengembangkan produk dengan desain penelitian *Research and Development (R&D)* (Sukmawati dkk, 2023). Perbedaan dengan penelitian penulis yaitu penulis mengembangkan produk E-LKPD berbantuan laboratorium virtual.

Beda penelitian yang penulis lakukan terhadap peneliti-peneliti sebelumnya adalah penelitian ini mengembangkan tampilan desain produk yang berbeda pada peneliti sebelumnya, pembelajaran menggunakan media E-LKPD berbasis model SETS dengan metode praktikum virtual yang diterapkan pada jenjang pendidikan tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA/MA) kelas XI MIPA pada materi gelombang bunyi dan cahaya dengan lokasi penelitian di MAN 3 Tasikmalaya.

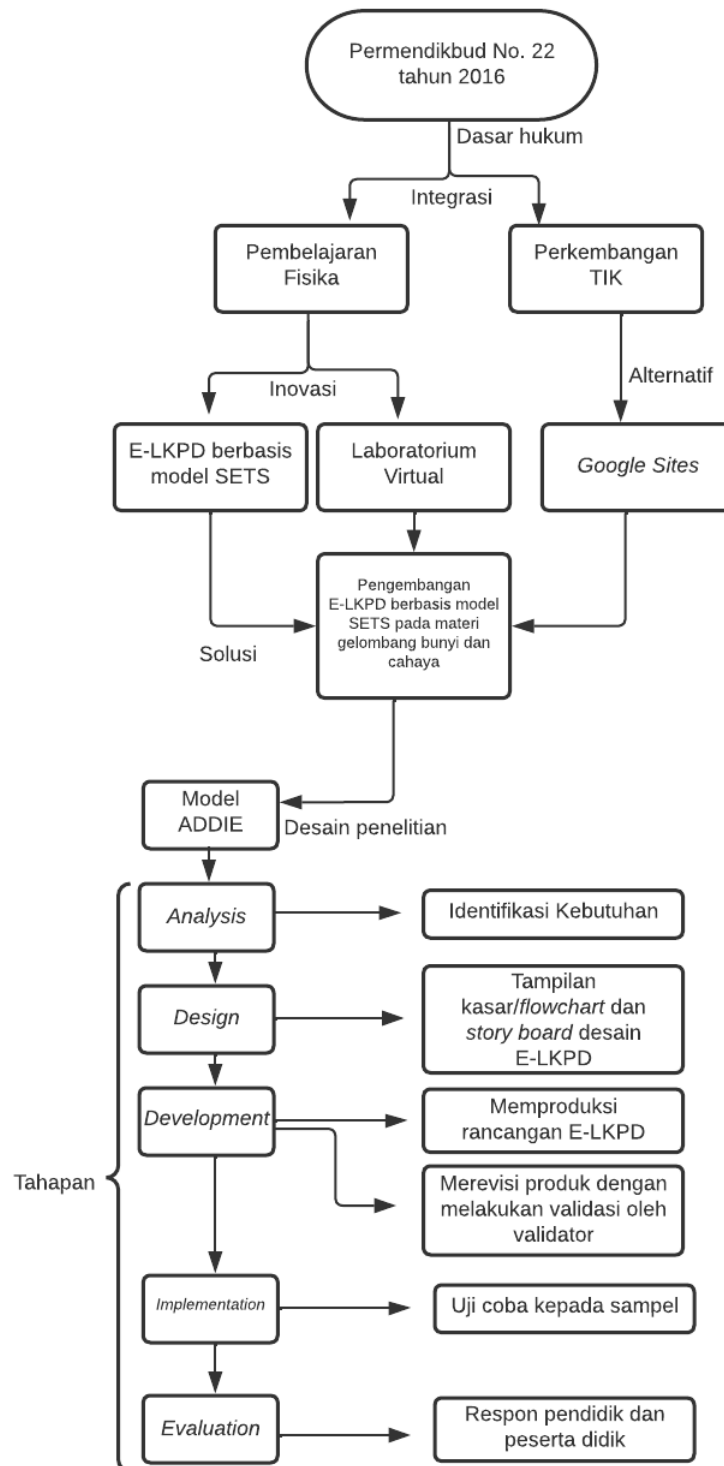
2.3 Kerangka Konseptual

Berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan No. 22 tahun 2016 tentang standar proses yakni kriteria pelaksanaan pembelajaran di tingkat satuan menengah untuk mencapai kompetensi lulusan, berbagai cara terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas pendidikan. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam meningkatkan efisiensi dan efektifitas pembelajaran. Salah satu sarana teknologi yang banyak digunakan dalam proses pembelajaran adalah layanan *Google Sites*. Melalui layanan ini, para pendidik dapat mengembangkan berbagai media ajar yang mendukung kegiatan pembelajara. Selain itu, layanan ini juga bisa dimanfaatkan sebagai sarana alternatif baru dalam mencari solusi keterbatasan alat atau bahan ajar di sekolah. Pemanfaatan teknologi tersebut dapat diintegrasikan ke dalam proses pembelajaran fisika sehingga diharapkan mampu meningkatkan kualitas pembelajaran fisika.

Kegiatan studi pendahuluan menjadi kunci utama dalam menganalisis kondisi dan kebutuhan proses pembelajaran di sekolah. Pembelajaran fisika yang diintegrasikan dengan kemajuan teknologi menjadi inovasi baru yang berpotensi untuk dijadikan media belajar yang lebih menarik dan efisien dalam kegiatan pembelajaran. Berdasarkan hasil studi pendahuluan berupa keterbatasan LKPD dan alat praktikum pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi dan cahaya, sehingga E-LKPD diharapkan mampu menjadi sebuah alternatif dalam melakukan kegiatan pembelajaran fisika sehingga menambah semangat belajar peserta didik di sekolah.

Hasil analisis tersebut penulis berupaya mengembangkan E-LKPD berbasis model SETS pada materi gelombang bunyi dan cahaya. Model SETS ini bertujuan untuk mendorong peserta didik dalam memecahkan permasalahan yang diberikan melalui serangkaian sintaks pembelajaran yaitu invitasi, eksplorasi, solusi, aplikasi, dan pementapan konsep. E-LKPD berbasis model ini dapat diintegrasikan dengan laboratorium virtual yang dapat diakses dengan mudah melalui *link* yang akan terhubung pada simulator di laboratorium virtual. Melalui E-LKPD berbasis model SETS yang memuat laboratorium virtual gelombang bunyi dan cahaya, diharapkan peserta didik dapat mendeskripsikan konsep dari materi yang diajarkan melalui serangkaian kegiatan praktikum virtual sehingga konsep pada materi dapat dipahami dengan konkret. Selanjutnya, konsep yang sudah konkret tersebut akan membuat pembelajaran bagi peserta didik menjadi lebih bermakna dan menyenangkan.

Serangkaian pengembangan produk ini dikembangkan melalui desain penelitian model *Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation* (ADDIE). Agar lebih jelas tentang kerangka konseptual pengembangan menggunakan model ADDIE dapat dilihat pada Gambar 2.12, berikut ini.



Gambar 2.11 Kerangka Konseptual