



FISIKA GELOMBANG, BUNYI & OPTIK

DIKTAT KULIAH I Teknik Perminyakan

Yusraida Khairani Dalimunthe, S.Pd., M.Sc

Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi
Universitas Trisakti

KATA PENGANTAR

Diktat ini berisi materi Fisika Dasar I untuk tingkat pertama di semester pertama fakultas sains dan teknik di perguruan tinggi negeri maupun swasta. Pembuatan diktat pembelajaran ini dilatarbelakangi karena ketiadaan diktat kuliah fisika dasar yang ditulis oleh dosen fisika di Program Studi Teknik Perminyakan selama berpuluh tahun serta belum tersedianya diktat khusus ilmu fisika yang terkait untuk Program Studi Teknik Perminyakan di Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti. Melalui penulisan diktat ini diharapkan mampu menjadi salah satu pedoman para dosen baik di perguruan tinggi negeri maupun swasta yang mengampu mata kuliah Fisika Dasar, khususnya bagian Gelombang, Bunyi dan Optik. Materi utama yang dibahas pada diktat ini mencakup Fisika Gelombang, Bunyi dan Optik yang diberikan selama setengah semester pertama perkuliahan sampai dengan dilaksanakannya Ujian Akhir Semester.

Pada diktat ini juga dibahas sejumlah fenomena yang terkait dengan ilmu serta prinsip-prinsip fisika yang penerapannya terkait dengan ilmu keteknikan serta sejumlah fenomena yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari dengan konsep yang dipelajari. Diharapkan dengan pendekatan ini menjadikan mahasiswa lebih tertarik dan menyadarkan mahasiswa akan pentingnya aplikasi konsep-konsep fisika yang pengaplikasiannya terkait fenomena sederhana yang ada di lingkungan sekitar hingga peralatan berteknologi canggih.

Dibandingkan dengan diktat atau buku sejenis, dalam diktat ini

beberapa topik disajikan dengan tingkat kesulitan yang disesuaikan untuk alur berfikir mahasiswa tingkat pertama di perguruan tinggi yang bertujuan untuk mengajak mahasiswa agar lebih aktif berfikir dalam menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan ilmu fisika terutama untuk bidang keilmuan yang diambilnya. Selain itu, untuk lebih memahami dan menguasai setiap pokok bahasan disediakan pula berbagai contoh soal serta pembahasannya .

Penulis menyadari tentu masih banyak kekurangan dalam penulisan diktat ini, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya.

Kampus Trisakti

September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
BAB I GELOMBANG	1
1. Pengertian Gelombang	2
2. Sifat –Sifat Umum Gelombang.....	5
3. Persamaan Gelombang.....	7
4. Energi Gelombang.....	12
5. Superposisi dan Interferensi Gelombang.....	12
6. Transmisi dan Refleksi Gelombang.....	14
7. Aplikasi gelombang dalam bidang Teknik Perminyakan.....	15
BAB II BUNYI	17
1. Bunyi Merupakan Gelombang Longitudinal	18
2. Frekuensi dan Tinggi Nada.....	19
3. Infrasonik dan Ultrasonik.....	19
4. Aplitudo dan Kuat Nada.....	20
5. Efek Doppler.....	21
6. Cepat Rambat Gelombang.....	23
7. Sumber Bunyi.....	27
8. Energi Gelombang Bunyi.....	32
9. Aplikasi bunyi dalam bidang Teknik Perminyakan.....	37

BAB III	OPTIK	39
	1. Optika Geometris.....	41
	2. Optika Fisis.....	49
	3. Aplikasi optik dalam bidang Teknik Perminyakan.....	61
	DAFTAR PUSTAKA.....	64

BAB I - GELOMBANG

Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar gelombang sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar gelombang sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

Indikator

1. Menjelaskan perbedaan gelombang transversal dan longitudinal.
2. Menuliskan persamaan gelombang berjalan dan gelombang stasioner.
3. Menghitung panjang gelombang, frekuensi, dan cepat rambat.
4. Mengidentifikasi fenomena pemantulan dan pembiasan pada gelombang.
5. Menjelaskan prinsip interferensi dan difraksi.
6. Menyajikan contoh fenomena polarisasi cahaya.

Mungkin kalian sudah sering mendengar istilah seperti "gelombang", "gelombang", "gelombang laut," dan "gelombang suara". Anda juga mungkin pernah melihat gelombang seperti air ketika batu jatuh di permukaan air atau ketika perahu bergerak. Namun, apakah Anda sudah memahami definisi gelombang? Bagaimana persamaan fisika menjelaskan gejala gelombang?.

Sangat penting untuk memahami persamaan fisis gelombang karena gelombang memiliki banyak manfaat dalam kehidupan kita. Hidup kita tidak pernah lepas dari arus dalam abad informasi dan komunikasi modern. Sebagai contoh, telepon pintar menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mengirimkan suara atau gambar dari telepon pintar ke telepon pintar lain atau ke menara pemancar. Internet berbasis gelombang mengirim data. Karena gelombang cahaya dan suara, kita dapat melihat layar HP dan mendengar percakapan atau musik. Tanpa gelombang, manusia lemah. Orang semakin bergantung pada gelombang dan terus menemukan cara untuk memanfaatkan gelombang yang lebih besar.

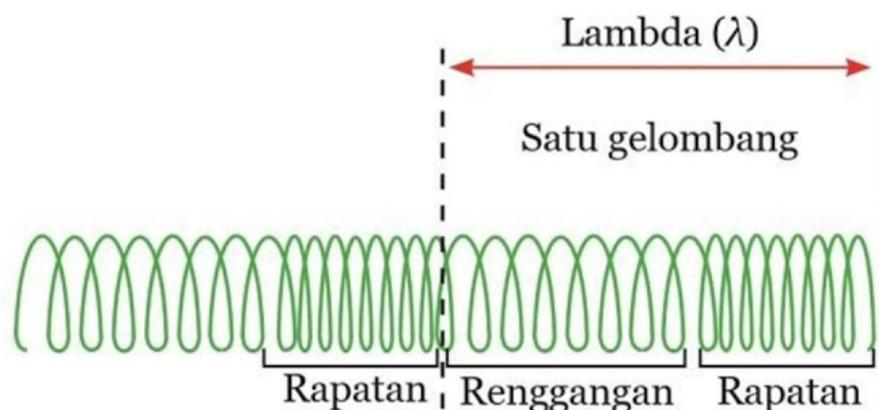
1. Pengertian Gelombang

Gelombang adalah getaran atau gangguan yang merambat melalui suatu medium (seperti udara, air, padatan) atau ruang hampa, dengan membawa energi dari satu titik ke titik lain tanpa memindahkan partikel medium secara permanen. Dalam perambatannya, gelombang hanya mentransfer energi, bukan materi. Partikel-partikel medium hanya berosilasi di sekitar posisi keseimbangannya. Dalam kehidupan sehari-hari, melempar batu ke dalam air menghasilkan gelombang di permukaan air.

Berdasarkan arah rambatnya, gelombang dibedakan menjadi gelombang longitudinal dan gelombang transversal.

a. Gelombang longitudinal

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatnya sejajar dengan arah getaran partikel medium. Contoh paling umum dari gelombang longitudinal adalah gelombang bunyi di udara, di mana molekul-molekul udara bergetar maju-mundur searah dengan arah rambat gelombang.

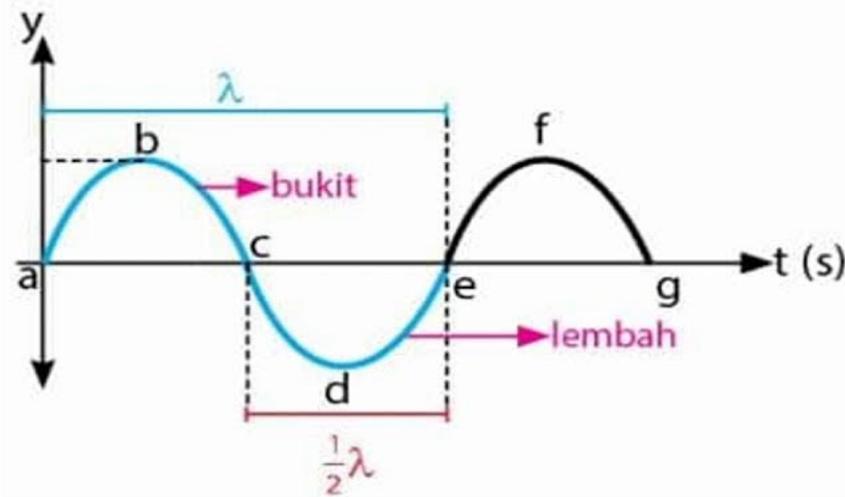


Gambar 1.1 Gelombang longitudinal

(sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=P-xQ9RjBuNw>)

b. Gelombang transversal

Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah getaran partikel medium. Contoh gelombang transversal adalah gelombang pada tali yang digetarkan ke atas dan ke bawah, serta gelombang cahaya.



Gambar 1.2 Gelombang transversal

(sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=P-xQ9RjBuNw>)

Sedangkan medium perambatannya, gelombang dibedakan menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik.

a. Gelombang mekanik

Gelombang mekanik memerlukan medium (seperti udara, air, atau padatan) untuk merambat. Gelombang ini tidak dapat merambat di ruang hampa. Contoh gelombang mekanik antara lain gelombang bunyi, gelombang air, dan gelombang seismik.



Gambar 1.3 Gelombang mekanik

(sumber: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/7/1123>)

b. Gelombang elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik, sebaliknya, tidak memerlukan medium untuk merambat. Gelombang ini dapat merambat melalui ruang hampa, seperti di luar angkasa. Contohnya meliputi cahaya tampak, gelombang radio, sinar-X, dan sinar gamma.



Gambar 1.4 Gelombang elektromagnetik

(sumber: <https://aquascapedecor.blogspot.com/2015/05/spektrum-cahaya-yang-dibutuhkan-untuk.html>)

2. Sifat –Sifat Umum Gelombang

Gelombang, baik mekanik maupun elektromagnetik, memiliki beberapa sifat umum yang penting dalam berbagai fenomena fisika. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing sifat:

a. Dapat Dipantulkan (Refleksi)

Refleksi adalah peristiwa gelombang yang memantul kembali saat mengenai permukaan penghalang.

Contoh: Gelombang bunyi yang memantul dari dinding membentuk gema. Pada gelombang cahaya, pantulan menyebabkan bayangan terbentuk pada cermin.

Hukum refleksi menyatakan bahwa sudut datang = sudut pantul.

b. Dapat Dibiaskan (Refraksi)

Refraksi adalah peristiwa pembelokan arah gelombang ketika melewati batas antara dua medium yang berbeda kerapatannya.

Contoh: Pensil yang dicelupkan sebagian ke dalam air tampak bengkok. Pada gelombang cahaya, ini terjadi karena perbedaan indeks bias antara udara dan air. Kecepatan dan panjang gelombang berubah, tetapi frekuensi tetap.

c. Dapat Dilenturkan (Difraksi)

Difraksi adalah kemampuan gelombang untuk menyebar atau membelok saat melewati celah sempit atau melewati ujung penghalang.

Contoh: Suara masih terdengar walaupun sumber suara terhalang tembok, karena gelombang bunyi mengalami difraksi.

Semakin sempit celah dibanding panjang gelombangnya, semakin jelas efek difraksi.

d. Dapat Dipadukan (Interferensi)

Interferensi adalah peristiwa penjumlahan atau pengurangan amplitudo ketika dua atau lebih gelombang bertemu.

Jika puncak bertemu puncak, atau lembah bertemu lembah → terjadi interferensi konstruktif (penguatan).

Jika puncak bertemu lembah → terjadi interferensi destruktif (pelemahan atau saling meniadakan).

Interferensi digunakan dalam teknologi seperti laser, interferometer, dan noise-canceling headphone.

e. Dapat Dikutubkan (Polarisasi)

Polarisasi adalah peristiwa pemilahan arah getar gelombang menjadi satu arah tertentu. Hanya berlaku untuk gelombang transversal, seperti cahaya.

Contoh: Kacamata polaroid menyaring cahaya yang terpolarisasi sebagian, sehingga mengurangi silau.

Dalam eksperimen, polarisasi membuktikan bahwa cahaya adalah gelombang transversal.

3. Persamaan Gelombang

Gelombang terdiri dari getaran. Untuk menyatakan suatu gelombang sebagai persamaan atau fungsi, kita memerlukan informasi tentang atribut getaran yang membentuknya, yaitu frekuensi (f), periode (T), dan amplitudo (A). Kita juga memerlukan informasi tentang laju (v) gelombang. Pertama, mari kita lihat persamaan getarannya.

a. Persamaan getaran

Getaran adalah gerak bolak balik di sekitar titik kesetimbangan. Misalkan, sebuah titik bergetar secara teratur. Kurva fungsi periodik diperoleh jika jarak simpangan (y) diplot terhadap waktu (t).

Kurva periodik biasanya berupa kurva sinus maupun cosinus. Yang kita pilih jika saat awal ($t = 0$ sekon) simpangannya nol ($y = 0$), maka fungsi gelombang berbentuk:

$$y = A \sin^2 2\pi ft$$

$$y = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

$$y = A \sin \omega t$$

Dengan $\omega = 2\pi f$ adalah kecepatan sudut getaran. Jika pada awal ($t = 0$ sekon) simpangan maksimum ($y = A$), fungsi periodiknya kita pilih berbetuk:

$$y = A \cos 2\pi ft$$

$$y = A \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

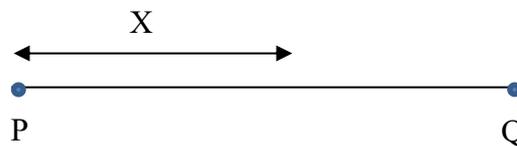
$$y = A \cos \omega t$$

Kecepatan getaran atau kecepatan dalam arah sumbu y dapat ditentukan dengan turunan pertama fungsi gelombang terhadap variable waktu. Kecepatan ini bukan kecepatan perambatan gelombang (v) sehingga untuk membedakannya kita simbolkan dengan v_y .

$$v_y = y' = \frac{dy}{dt}$$

b. Persamaan gelombang berjalan

Gelombang berjalan selalu memiliki amplitudo yang sama di mana pun mereka melewati. Dalam Gambar 1.8, perhatikan gelombang yang berjalan dari sumber P ke titik Q, yang berjarak X. Bagaimana simpangan dapat dihitung pada titik P? Simpangan getarannya dan waktu perjalanannya dapat digunakan untuk menentukan simpangan tersebut.



Gambar 5. Gelombang berjalan dari P ke Q

Dari titik P merambat getaran yang amplitudonya A , periodenya T dan cepat rambat getarannya v . Bila titik P telah bergetar t detik, simpangannya :

$$y_p = A \sin \omega t = A \sin (2\pi t/T)$$

Dari P ke Q yang jaraknya X getaran memerlukan v/x detik, jadi ketika P telah bergetar t detik, titik Q baru bergetar $((t - x/v)$ detik. Simpangan Q saat itu:

$$y_Q = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) \right)$$

Jadi, persamaan gelombang berjalan adalah:

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

$$y = A \sin (\omega t - kx)$$

dengan:

λ = panjang gelombang (m)

T = periode gelombang (s)

ω = frekuensi sudut

k = bilangan gelombang

Contoh soal:

1. Karakteristik getaran pada sebuah gelombang ditunjukkan oleh persamaan: $y = 10 \sin 6,28 t$, dengan y dalam satuan cm dan t dalam satuan sekon. Tentukan (a) amplitude, (b) frekuensi sudut, (c) frekuensi gelombang, dan besar kecepatan getarnya pada $t = 2$ sekon!

Penyelesaian:

(a) $A = 10 \text{ cm}$

(b) $\omega = 6,28 \text{ rad/s}$

(c) $f = \frac{\omega}{2\pi} = (6,28 \text{ rad/s}) / (2) (3,14) = 1 \text{ Hz}$

(d) $v_y = \frac{dy}{dt}$

$$\begin{aligned}
&= \omega A \cos \omega t \\
&= (6,28 \text{ rad/s}) (10 \text{ cm}) \cos ((6,28 \text{ rad/s}) (2\text{s})) \\
&= 6,28 \cos (12,56 \text{ rad}) \\
&= 6,28 \cos (4 \pi \text{ rad}) \\
&= 62,8 \text{ cm/s}
\end{aligned}$$

2. Sebuah gelombang transversal merambat pada tali dengan persamaan: $y(x, t) = 0,05 \sin (4\pi t - 2\pi x)$, dengan y dan x dalam meter dan t dalam detik

Tentukan:

- a) Amplitudo gelombang
- b) Frekuensi gelombang
- c) Panjang gelombang
- d) Cepat rambat gelombang

Jawaban dan Pembahasan:

Persamaan umum gelombang transversal:

$$: y(x, t) = A \sin (\omega t - kx)$$

Dari soal:

Amplitudo $A = 0,05 \text{ m}$

$$\omega = 4\pi \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{4\pi}{2\pi} = 2 \text{ Hz}$$

$$k = 2\pi \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1 \text{ m}$$

$$v = f\lambda = 2 \times 1 = 2 \text{ m/s}$$

Jawaban:

- a) Amplitudo = 0,05 m
- b) Frekuensi = 2 Hz
- c) Panjang gelombang = 1 m

d) Cepat rambat = 2 m/s

c. Gelombang stasioner

Gelombang yang amplitudonya berubah antara nol dan maksimum disebut gelombang stasioner. Yang pertama adalah gelombang stasioner pada ujung terikat dan yang kedua adalah gelombang stasioner pada ujung bebas.

1. Gelombang stasioner pada ujung bebas

Pada gelombang stasioner pada ujung bebas gelombang pantul tidak mengalami pembalikan fase. Persamaan gelombang di titik P dapat dituliskan seperti berikut:

$$y_1 = A \sin 2\pi/T (t - (l - x)/v)$$

untuk gelombang datang

$$y_2 = A \sin 2\pi/T (t - (l + x)/v)$$

untuk gelombang pantul

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ y &= A \sin 2\pi/T (t - (l - x)/v) + A \sin 2\pi/T (t - (l + x)/v) \\ y &= 2 A \cos kx \sin 2\pi (t/T - 1/\lambda) \end{aligned}$$

2. Gelombang stasioner pada ujung terikat

Persamaan gelombang datang dan gelombang pantul dapat ditulis sebagai berikut:

$$y_1 = A \sin 2\pi (t/T - (l - x)/\lambda)$$

untuk gelombang datang

$$y_2 = A \sin 2\pi (t/T - (l + x)/\lambda)$$

untuk gelombang pantul, superposisi gelombang datang dan gelombang pantul di titik q akan menjadi:

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ y &= A \sin 2\pi (t/T - (l - x)/\lambda) - A \sin 2\pi (t/T - (l + x)/\lambda) \end{aligned}$$

4. Energi Gelombang

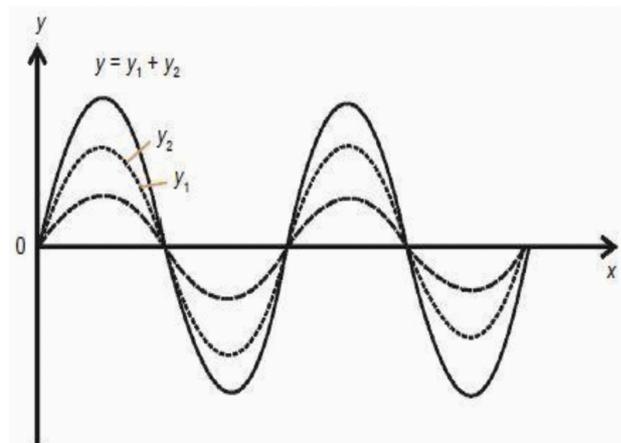
Energi dirambatkan oleh gelombang. Sebuah gelombang pada tali bermassa m yang memiliki amplitude A dan frekuensi f akan merambatkan energi sebesar:

$$E = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = \frac{1}{2}m(4\pi^2f^2)A^2 = 2\pi^2mf^2A^2$$

5. Superposisi dan Interferensi Gelombang

Superposisi adalah ketika dua atau lebih gelombang dalam medium yang sama berinteraksi satu sama lain. Pergeseran gelombang hasil superposisi dua gelombang dapat dihitung dengan menjumlahkan pergeseran gelombang y_1 dan y_2 , dan kemudian pergeseran gelombang hasil superposisi dapat ditemukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$y = y_1 + y_2$$

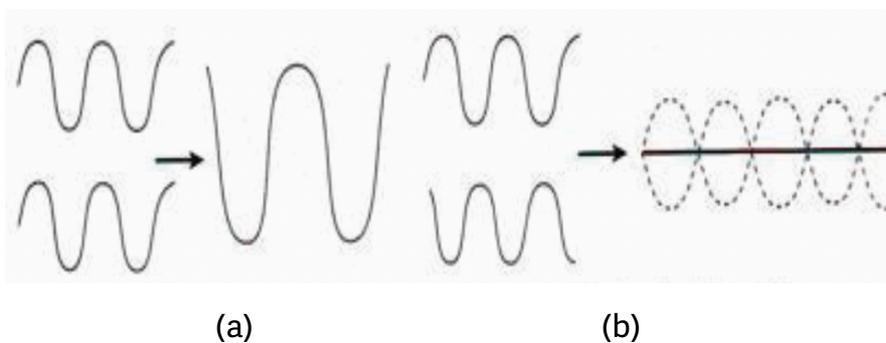


Gambar 1.5 Superposisi dan Interferensi Gelombang (Yuberti, 2014)

Salah satu cara untuk menemukan persamaan gelombang hasil superposisi dua gelombang adalah dengan membuat persamaan gelombang stasioner.

Jika pada suatu tempat bertemu dua buah gelombang, maka resultan gelombang di tempat tersebut sama dengan jumlah dari kedua gelombang tersebut. Peristiwa ini disebut sebagai prinsip superposisi linear. Gelombang-gelombang yang terpadu akan mempengaruhi medium. Pengaruh yang ditimbulkan oleh gelombang-gelombang yang terpadu tersebut disebut interferensi gelombang.

Ketika Anda mempelajari gelombang stasioner yang dibuat oleh superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul oleh ujung bebas atau ujung tetap, Anda akan menemukan bahwa pada titik tertentu, disebut perut, kedua gelombang saling memperkuat (interferensi konstruktif), dan menghasilkan amplitudo paling besar, dua kali amplitudo semula. Pada titik lain, disebut simpul, kedua gelombang saling memperlemah atau meniadakan (interferensi destruktif).



Gambar 1.6 Interferensi Gelombang (a) konstruktif, (b) destruktif
(Yuberti, 2014)

Dengan menggunakan konsep fase, kita dapat mengatakan bahwa interferensi konstruktif (saling menguatkan) terjadi ketika dua gelombang berpadu memiliki fase yang sama dan amplitudo masing-masing gelombang sama dengan dua kali amplitudonya. Sebaliknya, interferensi destruktif (saling meniadakan) terjadi ketika kedua gelombang berpadu

berlawanan fase dan amplitudo gelombang paduan sama dengan nol. Ilustrasi interferensi destruktif mudah dipahami dengan melihat Gambar 6.

6. Transmisi dan Refleksi Gelombang

Jika gelombang bergerak dari medium 1 ke medium 2 yang berbeda jenisnya, maka akan terjadi:

- a. Transmisi gelombang yaitu gelombang yang dikirim ke medium 2
- b. Refleksi gelombang yaitu gelombang yang dipantulkan kembali ke medium 1.

Energi yang tersisa setelah gelombang melewati atau menembus struktur penahan dikenal sebagai transmisi gelombang. Karakteristik gelombang sangat dipengaruhi oleh gelombang transmisi. Koefisien transmisi (t) adalah ukuran yang menunjukkan perbandingan amplitudo gelombang yang ditransmisikan dengan gelombang yang datang.

Refraksi, atau pembiasan, adalah ketika berkas yang ditransmisikan membelok. Pembiasan terjadi ketika gelombang memasuki medium yang berbeda dan kecepatan gelombangnya berbeda pada kedua medium tersebut. Pembiasan menyebabkan arah rambat gelombang berubah jika arah datangnya tidak sejajar dengan garis normal.

Gelombang air yang melalui daerah yang lebih dangkal mengalami perubahan kecepatan, sehingga terjadi pembiasan. Cahaya yang bergerak dari udara ke air mengalami pembiasan karena perbedaan kecepatan cahaya di udara dan di air.

Pemantulan gelombang (Refleksi), terjadi pada saat sebuah gelombang

yang merambat dalam suatu media sampai di bidang batas medium tersebut dengan media lainnya. Dengan demikian, Pemantulan (refleksi) sebuah gelombang adalah bidang batas antara dua medium yang berbeda. Koefisien refleksi (r) adalah perbandingan amplitudo gelombang pantul dibandingkan amplitudo gelombang datang.

7. Aplikasi gelombang dalam bidang Teknik Perminyakan

Dalam bidang teknik perminyakan, konsep gelombang memiliki peran yang sangat penting, terutama dalam kegiatan eksplorasi dan monitoring bawah permukaan bumi. Gelombang digunakan sebagai alat bantu untuk mendeteksi struktur geologi, memetakan reservoir minyak dan gas, serta menentukan lokasi pengeboran yang optimal. Beberapa penerapan utama gelombang dalam teknik perminyakan antara lain:

1. Gelombang Seismik untuk Eksplorasi

Salah satu aplikasi paling umum adalah penggunaan gelombang seismik untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Dalam metode ini, gelombang getar (biasanya berupa gelombang mekanik longitudinal) dikirimkan ke dalam tanah menggunakan alat getar (vibrator) atau ledakan kecil. Gelombang tersebut akan merambat melalui berbagai lapisan batuan dan dipantulkan kembali ke permukaan.

Sensor (geofon) menangkap gelombang pantul ini, lalu data diolah untuk membentuk citra bawah permukaan. Dengan interpretasi data ini, para ahli dapat mengidentifikasi struktur geologi yang berpotensi mengandung minyak atau gas.

2. Logging Akustik

Saat proses pengeboran berlangsung, dilakukan wireline logging yang salah satunya menggunakan sonic logging atau akustik logging. Dalam metode ini, gelombang suara dikirimkan ke dalam sumur bor, dan kecepatan rambatnya digunakan untuk mengetahui kepadatan dan porositas batuan reservoir. Hal ini sangat penting untuk menilai seberapa baik batuan dapat menyimpan dan mengalirkan hidrokarbon.

3. Gelombang Elektromagnetik dalam Reservoir Monitoring

Gelombang elektromagnetik juga digunakan dalam teknik resistivity logging dan electromagnetic surveying. Teknologi ini mengandalkan perbedaan konduktivitas listrik antara lapisan batuan yang mengandung air, minyak, atau gas. Gelombang elektromagnetik ini membantu mengetahui sebaran fluida dalam reservoir, bahkan selama masa produksi berlangsung.

4. Deteksi Kebocoran dan Kerusakan Sumur

Teknik berbasis gelombang digunakan untuk monitoring integritas sumur, seperti akustik emission testing. Gelombang bunyi yang ditimbulkan oleh keretakan atau kebocoran dapat dianalisis untuk mendeteksi lokasi dan tingkat keparahan kerusakan.

BAB II - BUNYI

Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar bunyi sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar bunyi sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

Indikator

1. Menghitung cepat rambat bunyi di berbagai medium.
2. Menjelaskan konsep intensitas dan taraf intensitas bunyi.
3. Menganalisis resonansi dan sonometer..

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sangat terlibat dengan gelombang, terutama gelombang longitudinal, yang merambat dalam suatu medium, seperti bunyi. Gelombang bunyi dapat menyampaikan informasi, terutama mengenai gejala, peristiwa, atau identitas suatu benda.

1. Bunyi Merupakan Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal yaitu gelombang yang memiliki arah getaran yang sama dengan arahnya, artinya arah gerakan medium gelombangnya sama atau berlawanan arah dengan perambatan gelombang. Bunyi yang kita dengar merupakan rambatan suatu gelombang. Bunyi merupakan gelombang yang merambat melalui medium udara. Bunyi merupakan gelombang yang dapat merambat melalui 3 medium yaitu zat padat, zat cair dan zat gas. Namun gelombang bunyi tidak dapat merambat diruang hampa udara.

Tabel 2.1 Kecepatan rambat udara dalam berbagai zat pada suhu 15 °C

Zat	Cepat rambat bunyi (m/s)
Udara	340
Polietilen	920
Helium	977
Air	1500
Marmer	3810
Kayu	3850
Aluminium	5000
Besi	5120

Jika bunyi mengenai bidang yang keras, itu akan dipantulkan, tetapi jika mengenai bidang yang lembut, itu akan diserap. Beberapa bahan seperti

kain wol, karton, gelas, karet, dan besi dapat menyerap bunyi.

2. Frekuensi dan Tinggi Nada

Bunyi dapat dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan frekuensinya: bunyi yang teratur dan bunyi yang tidak teratur. Bunyi yang teratur disebut nada, dan bunyi yang tidak teratur disebut desah. Karena frekuensi gelombang yang lebih tinggi, wanita biasanya memiliki nada suara yang lebih tinggi dibandingkan pria. Manusia dapat mendengar bunyi dengan jangkauan frekuensi dari 20 Hz hingga 20000 Hz.

Percobaan dengan mistar plastik yang ditempelkan pada jari-jari roda sepeda akan menunjukkan bahwa nada yang dihasilkan semakin tinggi karena frekuensi gelombangnya. Pertama, putaran roda secara perlahan, lalu semakin kencang, menunjukkan bahwa nada yang dihasilkan semakin tinggi karena frekuensi gelombangnya.

3. Infrasonik dan Ultrasonik

Menurut kajian dalam bidang fisika akustik, manusia memiliki kemampuan mendengar bunyi dalam rentang frekuensi tertentu, yaitu sekitar 20 Hz hingga 20.000 Hz (20 kHz). Bunyi yang memiliki frekuensi di bawah 20 Hz disebut sebagai bunyi infrasonik, sedangkan bunyi dengan frekuensi di atas 20.000 Hz disebut sebagai bunyi ultrasonik. Frekuensi di luar rentang ini tidak dapat dideteksi oleh indera pendengaran manusia karena keterbatasan fisiologis dari sistem auditori.

Namun, beberapa spesies hewan memiliki kemampuan pendengaran yang jauh lebih sensitif atau melampaui rentang pendengaran manusia.

Misalnya, kelelawar menggunakan bunyi ultrasonik sebagai bagian dari sistem ekolokasi untuk bernavigasi dan menangkap mangsa di kegelapan. Frekuensi yang digunakan kelelawar bahkan bisa mencapai lebih dari 100.000 Hz. Demikian pula, anjing memiliki pendengaran yang lebih tajam dibandingkan manusia dan dapat menangkap frekuensi hingga sekitar 45.000 Hz. Kemampuan ini memungkinkan mereka merespons suara-suara tertentu yang tidak terdengar oleh manusia, seperti peluit anjing (dog whistle) yang dirancang untuk hanya terdengar oleh hewan.

Dengan demikian, meskipun pendengaran manusia memiliki batasan tertentu, alam memperlihatkan keragaman adaptasi biologis dalam merespons gelombang bunyi, yang dapat sangat berguna dalam aktivitas bertahan hidup dan komunikasi antar spesies.

4. Amplitudo dan Kuat Nada

Untuk memahami hubungan antara amplitudo gelombang bunyi dengan kuat atau kerasnya suara yang terdengar (nada), kita dapat melakukan pengamatan sederhana menggunakan alat musik seperti gitar. Misalnya, saat senar gitar dipetik secara perlahan, bunyi yang dihasilkan terdengar lemah atau pelan. Namun, ketika senar tersebut dipetik dengan lebih kuat, bunyi yang terdengar menjadi jauh lebih keras dan jelas. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas bunyi meningkat seiring dengan meningkatnya gaya petikan.

Fenomena serupa juga dapat diamati dengan menggunakan garpu tala. Jika garpu tala dipukulkan secara perlahan ke permukaan yang keras,

bunyi yang dihasilkan terdengar lemah. Sebaliknya, ketika garpu tala dipukul dengan kekuatan yang lebih besar, bunyi yang dihasilkan terdengar lebih keras. Dalam kedua kasus ini, baik pada senar gitar maupun garpu tala, bunyi yang terdengar lebih keras menunjukkan bahwa amplitudo getaran sumber bunyi lebih besar.

Secara fisika, amplitudo adalah besarnya simpangan maksimum partikel dari posisi setimbang saat bergetar. Makin besar amplitudo suatu gelombang bunyi, makin besar pula energi yang dibawa gelombang tersebut, sehingga bunyi terdengar lebih keras oleh telinga manusia. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kuat bunyi berbanding lurus dengan amplitudo gelombangnya. Artinya, semakin besar amplitudo suatu gelombang bunyi, semakin besar pula intensitas atau kerasnya bunyi yang dihasilkan.

5. Efek Doppler

Dalam kehidupan sehari-hari, kita kerap mengalami berbagai fenomena bunyi di sekitar kita. Salah satu contoh yang paling umum adalah suara kendaraan yang melintas di dekat kita. Ketika sebuah kendaraan, seperti mobil atau motor, mendekati posisi kita, suara mesinnya terdengar semakin keras dan tinggi. Namun, ketika kendaraan tersebut mulai menjauh, suara yang kita dengar menjadi semakin pelan dan tampak lebih rendah nadanya.

Fenomena ini tidak hanya berkaitan dengan kuat-lemahnya bunyi (intensitas), tetapi juga dengan perubahan frekuensi yang diterima oleh

pendengar. Secara ilmiah, tinggi rendahnya bunyi atau nada sangat dipengaruhi oleh frekuensi gelombang bunyi, bukan oleh panjang gelombang semata. Frekuensi adalah banyaknya getaran yang terjadi dalam satu detik, dan semakin tinggi frekuensinya, maka semakin tinggi pula nada yang terdengar.

Ketika sumber bunyi bergerak mendekati pendengar, gelombang bunyi yang dipancarkan menjadi lebih rapat karena jarak antara sumber dan pendengar semakin pendek. Akibatnya, pendengar menerima gelombang dengan frekuensi yang lebih tinggi daripada frekuensi sebenarnya yang dipancarkan oleh sumber. Sebaliknya, jika sumber bunyi menjauh, gelombang menjadi lebih renggang dan pendengar menerima frekuensi yang lebih rendah, sehingga nada yang terdengar pun menjadi lebih rendah.

Perubahan frekuensi yang dirasakan oleh pendengar akibat gerakan relatif antara sumber bunyi dan pendengar ini dikenal sebagai Efek Doppler. Fenomena ini pertama kali dijelaskan secara ilmiah oleh seorang fisikawan Austria bernama Christian Johann Doppler pada tahun 1842. Efek Doppler tidak hanya berlaku pada bunyi, tetapi juga pada gelombang elektromagnetik seperti cahaya dan radio, dan memiliki aplikasi penting dalam berbagai bidang, mulai dari radar, astronomi, hingga pencitraan medis seperti Doppler ultrasound.

Berikut kita tetapkan v_s sebagai kecepatan sumber bunyi, v sebagai cepat rambat bunyi diudara, dan v_p adalah kecepatan pendengar. T_s dan f_s sebagai periode dan frekuensi gelombang yang dipancarkan oleh sumber bunyi, sedangkan T_p dan f_p adalah periode dan frekuensi

gelombang yang diterima pendengar. Panjang gelombang yang dipancarkan sumber bunyi yang diam dinyatakan dengan persamaan.

$$\lambda_s = v T_s$$

sumber bunyi yang bergerak dengan kecepatan v_s T_s sehingga panjang gelombang yang diterima pendengar λ_p adalah

$$\begin{aligned}\lambda_p &= \lambda_s - v_s T_s = v T_s - v_s T_s \\ \lambda_p &= (v - v_s) T_s\end{aligned}$$

untuk menentukan periode yang diterima oleh pendengar T_p , kita harus menentukan dahulu selang waktu yang diperlukan panjang gelombang λ_p untuk sampai pada pendengar. Jika pendengar diam, maka

$$\begin{aligned}T_p &= \lambda_p / v \\ T_p &= (v - v_s) T_s / v\end{aligned}$$

Jika pendengar bergerak dapat dirumuskan dengan

$$T_p = (v - v_s) T_s / v - v_p$$

Namun jika terdapat benda yang bergerak pada kecepatan supersonik, maka persamaan Doppler tidak dapat lagi berlaku.

6. Cepat Rambat Gelombang

a. Cepat Rambat Gelombang Transversal Pada Dawai

Salah satu percobaan klasik yang terkenal dalam fisika gelombang adalah Percobaan Melde, yang bertujuan untuk menentukan cepat rambat gelombang transversal pada sebuah dawai. Percobaan ini dinamakan berdasarkan nama penemunya, Franz Melde, seorang fisikawan Jerman yang pada abad ke-19 mempelajari hubungan antara gaya tegangan pada dawai dan karakteristik gelombang yang merambat di dalamnya.

Dalam eksperimennya, Melde menggunakan sebuah alat yang dikenal dengan sonometer, yakni sebuah instrumen berbentuk kotak kayu yang

dilengkapi dengan kawat atau dawai yang direntangkan di atasnya. Dawai ini dapat ditegangkan dengan bantuan beban yang digantung pada salah satu ujungnya melalui sistem katrol. Gaya tegangan pada dawai (dilambangkan dengan F) berasal dari berat beban tersebut. Sementara itu, jenis dawai yang digunakan juga dapat diganti-ganti untuk memperoleh nilai yang berbeda dari massa per satuan panjang, yang dilambangkan dengan symbol μ (mu) dan didefinisikan sebagai $\mu = m/l$, di mana m adalah massa dawai dan l adalah panjangnya.

Dalam percobaan, dawai digetarkan dengan bantuan alat getar atau garpu tala, sehingga terbentuk pola gelombang berdiri. Dengan mengamati jumlah gelombang (banyaknya simpul dan perut) yang terbentuk pada dawai untuk kondisi tegangan tertentu, serta mengetahui panjang dawai dan frekuensi getaran, maka dapat dihitung cepat rambat gelombang transversal pada dawai tersebut.

Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa cepat rambat gelombang pada dawai (dilambangkan dengan v) bergantung pada dua faktor utama:

- Gaya tegangan dawai (F): semakin besar gaya tegangan, semakin cepat gelombang merambat.
- Massa per satuan panjang dawai (μ): semakin besar massa per panjang, semakin lambat gelombang merambat.

Secara matematis, cepat rambat gelombang pada dawai dinyatakan dengan rumus:

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

Rumus ini merupakan hasil penting dari Percobaan Melde, yang hingga kini digunakan dalam studi getaran dan gelombang, serta menjadi dasar

pemahaman dalam berbagai aplikasi fisika teknik dan musik, seperti dalam desain alat musik petik dan alat ukur akustik.

b. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang merambat melalui getaran partikel-partikel medium. Gelombang bunyi membutuhkan medium perambatan agar dapat sampai ke pendengar, sehingga tidak dapat merambat di ruang hampa. Medium tersebut bisa berupa zat padat, cair, maupun gas. Sifat gelombang longitudinal dari bunyi berarti bahwa arah getaran partikel medium sejajar dengan arah rambat gelombang.

Kecepatan rambat bunyi tidak sama dalam setiap medium. Cepat rambat bunyi sangat bergantung pada sifat-sifat fisis dari medium tersebut, seperti kerapatan, elastisitas, dan suhu. Secara umum, bunyi merambat paling cepat dalam zat padat, lebih lambat dalam zat cair, dan paling lambat dalam gas. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam kedekatan antar partikel dan kekuatan ikatan antar partikel dalam masing-masing medium.

Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai cepat rambat bunyi dalam ketiga jenis medium:

1. Cepat Rambat Bunyi dalam Zat Padat

Dalam zat padat, partikel-partikel berada sangat rapat dan terikat kuat satu sama lain, sehingga getaran antar partikel dapat merambat dengan sangat cepat. Cepat rambat bunyi dalam zat padat bergantung pada dua sifat utama, yaitu:

- Modulus Young (E): ukuran elastisitas atau kekakuan zat padat.
- Massa jenis (ρ): massa per satuan volume zat.

Secara matematis, cepat rambat bunyi dalam zat padat diberikan oleh rumus:

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

Semakin besar modulus Young dan semakin kecil massa jenis, maka bunyi akan merambat lebih cepat.

2. Cepat Rambat Bunyi dalam Zat Cair

Dalam zat cair, partikel-partikelnya lebih longgar dibandingkan dengan zat padat, sehingga bunyi merambat lebih lambat. Cepat rambat bunyi dalam cairan ditentukan oleh:

- Modulus Bulk (B): ukuran ketahanan zat cair terhadap perubahan volume akibat tekanan.
- Massa jenis (ρ): seperti pada zat padat.

Rumus cepat rambat bunyi dalam cairan adalah:

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

Modulus bulk menunjukkan seberapa mudah zat cair terkompresi. Semakin tidak mudah terkompresi, maka gelombang bunyi dapat merambat lebih cepat.

c. Cepat Rambat Bunyi dalam Gas

Dalam gas, partikel berada berjauhan dan tidak terikat kuat satu sama lain. Oleh karena itu, bunyi merambat paling lambat dalam gas. Kecepatan rambat bunyi dalam gas tidak hanya bergantung pada massa jenis, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh:

- Suhu gas: makin tinggi suhu, makin cepat pergerakan partikel, sehingga cepat rambat bunyi meningkat.
- Jenis gas: gas ringan seperti hidrogen atau helium memiliki kecepatan rambat bunyi yang lebih tinggi dibandingkan gas berat seperti oksigen atau karbon dioksida.

Rumus umum untuk cepat rambat bunyi dalam gas ideal adalah:

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

dengan:

γ = perbandingan kapasitas panas (C_p/C_v),

R = konstanta gas umum,

T = suhu mutlak (dalam Kelvin),

M = massa molar gas.

Dengan memahami bagaimana cepat rambat bunyi bergantung pada sifat medium, kita dapat menjelaskan berbagai fenomena dalam kehidupan sehari-hari, seperti mengapa suara terdengar lebih jelas saat kita berada di dalam air (zat cair), atau mengapa suara merambat lebih cepat melalui logam (zat padat) dibandingkan melalui udara (gas).

7. Sumber Bunyi

Bunyi yang kita dengar dalam kehidupan sehari-hari sejatinya merupakan hasil dari suatu getaran. Ketika sebuah benda bergetar, getaran tersebut mengganggu partikel-partikel di sekitarnya, menciptakan perambatan energi dalam bentuk gelombang longitudinal. Gelombang inilah yang kemudian dikenal sebagai gelombang bunyi.

Setiap sumber bunyi berasal dari benda yang bergetar secara periodik, misalnya senar gitar yang dipetik, membran drum yang dipukul, pita suara manusia saat berbicara, hingga speaker yang menghasilkan suara melalui getaran membrannya. Ketika benda ini bergetar, ia menyebabkan molekul-molekul medium di sekitarnya (seperti udara) turut bergetar dalam arah yang sejajar dengan arah rambat gelombang. Partikel-partikel udara mengalami pemampatan (rapat) dan perenggangan (renggang) secara bergantian, sehingga terbentuklah gelombang yang merambat dari sumber ke telinga pendengar.

Namun, penting untuk dicatat bahwa bunyi hanya dapat merambat melalui medium, seperti gas (udara), cairan (air), atau padatan (logam, kayu, dll). Di ruang hampa, di mana tidak ada partikel untuk menghantarkan getaran, bunyi tidak dapat terdengar.



Gambar 2.1 Bunyi sampai ke telinga manusia

(sumber: <https://www.mikirbae.com/2021/12/pengertian-bunyi-dan-sumber-energi-bunyi.html>)

Dengan demikian, gelombang bunyi adalah hasil dari suatu getaran sumber yang menyebabkan perambatan energi mekanik melalui medium, dan kita hanya dapat mendengar bunyi jika gelombang ini mencapai indera pendengaran kita dan ditransformasikan menjadi sinyal saraf oleh otak.

a. Senar Sebagai Sumber Bunyi (Resonansi)

Alat musik dawai seperti gitar, biola, dan harpa menghasilkan bunyi melalui getaran senar atau dawai yang direntangkan pada suatu kerangka. Ketika senar gitar dipetik, dawai tersebut mulai bergetar dan menghasilkan gelombang transversal yang kemudian dipantulkan bolak-balik di antara kedua ujung dawai yang terikat. Hasil dari pantulan gelombang ini adalah terbentuknya gelombang stasioner, yaitu pola gelombang tetap yang memiliki simpul dan perut, dan tidak tampak merambat meskipun energi tetap berpindah.

Pada kondisi tertentu, dawai dapat bergetar dalam pola tertentu yang stabil. Pola getaran paling sederhana dan paling rendah frekuensinya disebut sebagai nada dasar atau harmonik pertama. Nada ini memiliki satu perut dan dua simpul di ujung-ujung dawai. Jika dawai terus dipaksa bergetar pada frekuensi yang lebih tinggi, akan terbentuk nada-nada atas, yaitu:

- Nada atas pertama (harmonik kedua): frekuensinya dua kali frekuensi nada dasar.
- Nada atas kedua (harmonik ketiga): frekuensinya tiga kali frekuensi nada dasar.
- Dan seterusnya.

Setiap pola getaran harmonik ini memiliki frekuensi tertentu yang disebut sebagai frekuensi alami atau frekuensi resonansi dari dawai tersebut. Frekuensi-frekuensi ini dilambangkan dengan f_0, f_1, f_2, \dots , dan seterusnya, di mana f_0 adalah nada dasar, dan $f_n = (n + 1)f_0$ adalah nada atas ke-n.

Fenomena penting yang mendasari penguatan bunyi dalam alat musik ini adalah resonansi. Resonansi terjadi ketika suatu benda ikut bergetar karena adanya getaran dari benda lain yang memiliki frekuensi yang sama atau frekuensi kelipatan dari benda pertama. Dalam gitar, resonansi dapat terjadi antara senar dengan badan gitar, atau antar senar itu sendiri, sehingga memperkuat dan memperjelas bunyi yang dihasilkan.

Sebagai contoh, ketika senar gitar dipetik dan bergetar pada frekuensi tertentu, badan gitar ikut bergetar secara resonansi pada frekuensi yang sama. Hal ini memperbesar amplitudo gelombang bunyi yang dihasilkan, sehingga suara terdengar lebih nyaring dan kaya.

Dengan memahami konsep gelombang stasioner, frekuensi alami, dan resonansi, kita dapat menjelaskan bagaimana berbagai alat musik dawai mampu menghasilkan nada yang harmonis dan memperkuat suara secara efisien tanpa bantuan alat elektronik.

b. Pipa Organa Sebagai Sumber Bunyi

Pipa organa merupakan salah satu contoh alat musik yang menghasilkan bunyi melalui getaran kolom udara di dalam tabung. Dalam sistem ini, udara yang bergetar di dalam tabung bertindak sebagai sumber bunyi, bukan getaran dari suatu benda padat seperti senar atau membran. Ketika

udara ditiupkan ke dalam pipa, akan terbentuk gelombang bunyi yang terpantul di dalam tabung dan menciptakan gelombang stasioner pada kolom udara tersebut.

Pipa organa dapat dibedakan menjadi dua jenis utama berdasarkan bentuk ujung-ujung tabungnya, yaitu:

a. Pipa Organa Terbuka

Pipa organa terbuka adalah tabung yang kedua ujungnya terbuka, sehingga udara dapat bergerak bebas di kedua sisi. Contoh dari alat musik yang menggunakan prinsip ini adalah seruling atau flute. Dalam pipa ini, simpul dan perut gelombang terbentuk dengan pola tertentu:

- Pada ujung-ujung yang terbuka, terjadi perut gelombang karena partikel udara bebas berosilasi.
- Simpul terbentuk di tengah-tengah tabung untuk nada dasar.

Frekuensi dasar (harmonik pertama) dan nada-nada atas dari pipa terbuka mengikuti pola kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar, yaitu:

$$f_n = (n + 1) \frac{v}{2L}, \text{ dengan } n = 0, 1, 2, \dots$$

di mana v adalah cepat rambat bunyi di udara dan L adalah panjang pipa.

b. Pipa Organa Tertutup

Pipa organa tertutup adalah tabung yang memiliki satu ujung tertutup dan satu ujung terbuka. Contoh alat musik yang bekerja dengan prinsip ini adalah klarinet atau beberapa jenis organ pipa. Dalam pipa ini:

- Simpul gelombang terbentuk di ujung yang tertutup (karena tidak ada gerakan udara di sana),
- Sedangkan perut gelombang terbentuk di ujung yang terbuka.

Pola gelombang yang terbentuk menyebabkan frekuensi-frekuensi resonansi hanya terjadi pada nada-nada ganjil dari frekuensi dasar, yaitu:

$$f_n = (2n + 1) \frac{v}{4L}, \text{ dengan } n = 0,1,2,\dots$$

Hal ini berarti pipa organa tertutup tidak memiliki harmonik genap, dan menghasilkan spektrum bunyi yang berbeda dari pipa terbuka.

8. Energi Gelombang Bunyi

a. Intensitas Gelombang Bunyi

Intensitas bunyi merupakan salah satu besaran fisika penting yang digunakan untuk mengukur seberapa kuat suatu gelombang bunyi dirasakan oleh indera pendengaran. Secara ilmiah, intensitas gelombang bunyi didefinisikan sebagai energi yang dipindahkan oleh gelombang per satuan luas per satuan waktu, atau dengan kata lain, daya per satuan luas. Intensitas ini diukur pada suatu bidang yang tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.

Dalam praktiknya, setiap sumber bunyi seperti speaker, manusia yang berbicara, atau lonceng akan memancarkan gelombang bunyi ke segala arah, membentuk pola sebaran tiga dimensi. Apabila medium perambatan (misalnya udara) bersifat homogen dan tidak terdapat gangguan dari penghalang atau hambatan, maka gelombang bunyi akan merambat dengan kecepatan konstan dan membentuk muka gelombang berbentuk bola yang membesar seiring waktu.

Karena gelombang merambat secara simetris dalam bentuk bola, maka energi yang dipancarkan oleh sumber bunyi akan tersebar secara merata

ke seluruh permukaan bola. Luas permukaan bola pada jarak r dari pusat sumber bunyi diberikan oleh rumus:

$$A = 4\pi r^2$$

Dengan demikian, daya rata-rata P yang dipancarkan oleh sumber bunyi tersebut akan tersebar merata pada permukaan bola, dan intensitas bunyi I pada jarak r dapat dinyatakan sebagai:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Dari persamaan ini, kita dapat melihat bahwa intensitas bunyi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumbernya. Artinya, semakin jauh seseorang berada dari sumber bunyi, semakin kecil intensitas bunyi yang diterima. Penurunan intensitas ini merupakan alasan mengapa suara terdengar semakin pelan ketika kita menjauhi sumber bunyi.

b. Taraf Intensitas Bunyi

Telinga manusia merupakan alat indera yang sangat sensitif terhadap gelombang bunyi, namun memiliki batasan dalam menanggapi stimulus suara dari lingkungan. Tidak semua bunyi yang ada di sekitar dapat dideteksi oleh telinga, karena ada ambang batas minimum dan maksimum intensitas yang dapat dirasakan.

Batas intensitas terendah yang masih dapat didengar oleh manusia dikenal sebagai ambang pendengaran atau intensitas ambang bawah, dan besarnya sekitar:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Ini berarti, apabila intensitas gelombang bunyi yang sampai ke telinga manusia lebih kecil dari nilai ini, maka gelombang tersebut tidak akan terdengar sama sekali oleh manusia normal.

Sementara itu, batas intensitas tertinggi yang masih dapat didengar oleh manusia tanpa menimbulkan rasa sakit disebut sebagai ambang perasaan atau intensitas ambang atas, dengan nilai sekitar:

$$I = 1 \text{ W/m}^2$$

Jika intensitas bunyi melebihi nilai ini, maka telinga akan mulai merasakan ketidaknyamanan atau bahkan rasa sakit. Hal ini menunjukkan bahwa rentang intensitas bunyi yang dapat dideteksi manusia sangatlah luas, yaitu dari 10^{-12} W/m^2 hingga 1 W/m^2 . Rentang ini mencakup perubahan sebanyak 12 orde magnitudo, yang membuatnya sulit dituliskan atau dianalisis secara praktis jika menggunakan skala linier.

Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan suatu besaran turunan yang disebut taraf intensitas bunyi atau level intensitas bunyi, yang menyatakan intensitas bunyi dalam skala logaritmik. Taraf intensitas bunyi dilambangkan dengan simbol L , dan didefinisikan sebagai:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ dB}$$

di mana:

L = adalah taraf intensitas dalam satuan desibel (dB),

I = adalah intensitas bunyi yang diamati (W/m^2),

I_0 = adalah ambang intensitas pendengaran, yaitu 10^{-12} W/m^2

Penggunaan skala desibel ini memungkinkan kita untuk mengekspresikan variasi intensitas bunyi dalam bilangan yang lebih sederhana dan mudah dipahami. Misalnya, bunyi dengan intensitas 10^{-10} W/m^2 akan memiliki taraf intensitas:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{-10}}{10^{-12}} \right) = 10 \log_{10}(100) = 10 \times 2 = 20 \text{ dB}$$

Dengan demikian, konsep taraf intensitas tidak hanya mempermudah

analisis gelombang bunyi dalam kehidupan sehari-hari, tetapi juga sangat penting dalam bidang teknik akustik, pengendalian kebisingan, serta desain alat elektronik seperti speaker dan mikrofon.

c. Pelayangan Bunyi Aplikasi Interferensi Bunyi

Dalam fenomena gelombang bunyi, terdapat sebuah kejadian menarik yang dikenal sebagai pelayangan bunyi atau dalam istilah fisika disebut beats. Pelayangan terjadi ketika dua buah gelombang bunyi yang memiliki amplitudo sama dan merambat dalam arah yang sama, namun memiliki frekuensi yang sedikit berbeda, diperdengarkan secara bersamaan.

Ketika dua gelombang tersebut bertemu, mereka akan berinterferensi satu sama lain. Pada saat-saat tertentu, kedua gelombang berada dalam fase yang sama (puncak bertemu puncak dan lembah bertemu lembah), maka mereka akan menguatkan satu sama lain dan menghasilkan bunyi yang terdengar lebih keras (interferensi konstruktif). Namun, pada saat lain, ketika kedua gelombang berlawanan fase (puncak bertemu lembah), maka mereka akan saling melemahkan dan menghasilkan bunyi yang terdengar lebih pelan atau bahkan hilang sejenak (interferensi destruktif). Akibat dari proses interferensi ini, telinga manusia akan mendengar bunyi yang berubah-ubah secara periodik antara keras dan pelan, seolah-olah ada denyutan atau "berayun-ayun" dalam intensitas bunyinya. Inilah yang disebut sebagai pelayangan bunyi.

Secara matematis, jika dua gelombang bunyi memiliki frekuensi f_1 dan f_2 (dengan $f_1 \approx f_2$), maka frekuensi pelayangan yang terdengar oleh telinga manusia adalah:

$$f_{pelayangan} = |f_1 - f_2|$$

Artinya, semakin kecil perbedaan antara kedua frekuensi tersebut, maka pelayangan yang terdengar akan semakin lambat; sebaliknya, jika perbedaan frekuensinya lebih besar, maka pelayangan akan terdengar lebih cepat.

Fenomena pelayangan ini banyak dimanfaatkan dalam kehidupan nyata, antara lain dalam:

- Penyetelan alat musik, misalnya saat menyetel dua senar gitar agar memiliki frekuensi yang sama. Ketika pelayangan tidak terdengar lagi, artinya kedua senar sudah selaras (frekuensinya sama).
- Uji interferensi dalam laboratorium fisika, untuk mengamati prinsip superposisi gelombang.
- Deteksi frekuensi radio dalam teknologi komunikasi.

Contoh soal:

1. Sebuah pipa organa tertutup memiliki panjang 0,85 m. Jika cepat rambat bunyi di udara adalah 340 m/s, tentukan frekuensi nada dasar (frekuensi resonansi pertama) yang dihasilkan oleh pipa tersebut!

Penyelesaian:

Untuk pipa tertutup, nada dasar (frekuensi pertama) hanya mengandung $\frac{1}{4}$ panjang gelombang:

$$L = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda \Rightarrow 4L = 4 \times 0,85 = 3,4$$
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{3,4} = 100 \text{ Hz}$$

Maka, frekuensi nada dasar = 100 Hz

2. Dua garpu tala masing-masing menghasilkan bunyi dengan frekuensi 256 Hz dan 260 Hz. Jika kedua garpu tala dibunyikan bersamaan, berapa

frekuensi pelayangan yang akan terdengar?

Penyelesaian:

Frekuensi pelayangan:

$$f_{pelayangan} = |f_1 - f_2| = |260 - 256| = 4 \text{ Hz}$$

Maka, frekuensi pelayangan = 4 Hz

9. Aplikasi bunyi dalam bidang Teknik Perminyakan

Gelombang bunyi tidak hanya menjadi bagian dari fenomena fisika sehari-hari, tetapi juga memiliki peran penting dalam berbagai bidang teknik, termasuk dalam Teknik Perminyakan. Dalam dunia eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi, gelombang bunyi digunakan sebagai alat bantu utama untuk memahami karakteristik bawah permukaan bumi. Pemanfaatan ini umumnya dilakukan melalui metode seismik dan teknik pencitraan bawah tanah lainnya.

1. Eksplorasi Seismik (Seismic Survey)

Metode seismik refleksi dan seismik refraksi merupakan aplikasi utama gelombang bunyi dalam pencarian cadangan hidrokarbon. Prinsip dasar dari metode ini adalah sumber gelombang bunyi (misalnya dinamit kecil atau getaran dari vibroseis) ditembakkan ke dalam tanah. Gelombang tersebut merambat ke bawah dan akan dipantulkan kembali oleh lapisan-lapisan geologi yang berbeda sifatnya. Sensor yang disebut geofon atau hydrophone menangkap gelombang yang kembali ke permukaan. Dengan menganalisis waktu tempuh dan amplitudo gelombang pantul, ahli geofisika dapat memetakan struktur bawah permukaan, termasuk mendeteksi jebakan minyak dan gas dalam formasi batuan.

2. Logging Akustik (Acoustic Logging)

Dalam kegiatan pengeboran, digunakan alat logging berbasis gelombang bunyi untuk menganalisis formasi batuan yang dilalui oleh lubang bor. Teknik ini dikenal sebagai sonic logging atau acoustic well logging. Prinsipnya adalah alat logging mengirimkan pulsa gelombang bunyi melalui formasi batuan. Kecepatan rambat gelombang diukur dan dibandingkan dengan data standar. Data ini digunakan untuk menentukan porositas, kepadatan, dan jenis fluida di dalam pori-pori batuan. Teknik ini sangat penting dalam menilai potensi produktif suatu reservoir, serta dalam pengambilan keputusan lanjut untuk pengembangan sumur.

3. Acoustic Televiewer dan Imaging

Dalam teknik yang lebih maju, gelombang ultrasonik digunakan untuk menghasilkan gambar dinding lubang bor secara real-time. Alat ini dikenal sebagai acoustic televiewer. Teknologi ini memungkinkan visualisasi langsung kondisi formasi seperti retakan batuan, lapisan tipis atau struktur minor, arah dan orientasi rekahan, yang penting dalam desain stimulasi seperti hydraulic fracturing.

4. Pemantauan Reservoir

Gelombang bunyi juga digunakan untuk pemantauan perubahan dalam reservoir minyak selama proses produksi atau injeksi fluida. Misalnya, dalam teknik 4D Seismic (Time-Lapse Seismic), dilakukan survei seismik berulang untuk melihat dinamika pergerakan minyak, air, dan gas dalam waktu ke waktu. Ini sangat penting dalam mengoptimalkan perolehan minyak dari reservoir.

BAB III - OPTIK

Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar optik sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar optik sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

Indikator

1. Menggunakan hukum pemantulan dan hukum Snellius.
2. Menyelesaikan soal bayangan pada lensa cembung/cekung dan cermin.
3. Menggambar sinar-sinar utama pada sistem optik.
4. Menjelaskan interferensi celah ganda Young.
5. Menghitung pola difraksi celah tunggal.
6. Mengidentifikasi aplikasi polarisasi di kehidupan nyata (misal: kacamata polaroid).

Cahaya, sebagai bagian dari gelombang elektromagnetik, telah menjadi objek kajian penting dalam fisika sejak berabad-abad lalu. Dalam kehidupan sehari-hari, kita menyaksikan berbagai fenomena menarik yang berkaitan dengan cahaya, seperti warna-warni pelangi, kilauan sabun gelembung, hingga efek pelangi pada sayap serangga. Fenomena-fenomena tersebut tidak dapat dijelaskan hanya dengan pendekatan cahaya sebagai sinar lurus sebagaimana dalam optik geometris, melainkan memerlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang sifat gelombang cahaya, yang menjadi kajian utama dalam optik fisis.

Optik fisis mempelajari bagaimana cahaya berperilaku sebagai gelombang, dan bagaimana sifat ini menyebabkan terjadinya peristiwa interferensi, difraksi, dan polarisasi. Materi ini menjadi penting karena tidak hanya menjelaskan gejala alam secara ilmiah, tetapi juga menjadi dasar pengembangan teknologi optik modern, seperti mikroskop interferensi, laser, kamera resolusi tinggi, dan komunikasi serat optik.

Pada bab ini, mahasiswa akan diajak untuk memahami bagaimana dua gelombang cahaya dapat saling memperkuat atau melemahkan satu sama lain, bagaimana cahaya membelok ketika melewati celah sempit, dan bagaimana arah getaran cahaya dapat disaring oleh bahan tertentu. Pembahasan akan dilengkapi dengan ilustrasi, contoh aplikasi, serta pendekatan eksperimen sederhana yang membantu menjembatani konsep teoretis dan realitas praktis.

Dengan mempelajari Optik Fisis, diharapkan mahasiswa tidak hanya memahami konsep fisis di balik cahaya, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan berbagai teknologi dan fenomena yang ada di sekeliling kita.

1. Optika Geometris

a. Pemantulan Cahaya

Pemantulan cahaya dibedakan menjadi dua jenis yaitu pemantulan baur dan pemantulan teratur.

1. Hukum pemantulan

- Sinar datang adalah sinar yang dipantulkan oleh permukaan benda.
- Sinar pantul adalah sinar yang dipantulkan oleh permukaan benda.
- Garis normal adalah garis yang dibuat tegak lurus pada permukaan benda.
- Sudut datang adalah sudut antara sinar datang dengan garis normal.
- Sudut pantul adalah sudut antara sinar pantul dengan garis normal.

2. Pemantulan pada cermin datar

Cermin datar adalah cermin yang mempunyai permukaan pantul berbentuk bidang datar.

a. Sifat-sifat bayangan pada cermin datar

- Bayangan sama besar dengan bendanya.
- Bayangan tegak.

- Jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda kecermin.
- Bayangan tertukar sisinya, artinya bagian kanan benda menjadi bagian kiri bayangan.
- Bayangan semu atau maya, artinya tidak dapat ditangkap dengan layar.

b. Bayangan yang dibentuk oleh 2 cermin datar dengan sudut lancip

Dua cermin datar yang membentuk sudut lancip (θ) maka jumlah bayangan benda (n) yang dibentuk oleh cermin tersebut dapat dicari dengan rumus berikut

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

Contoh soal:

Dua buah cermin datar membentuk sudut α . Tentukan jumlah bayangan yang dibentuk oleh kedua cermin tersebut dari sebuah benda yang berada didepan cermin, jika :

- $\alpha = 30^\circ$
- $\alpha = 45^\circ$
- $\alpha = 180^\circ$

Penyelesaian:

Menggunakan rumus

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

- $n = \frac{360}{\alpha} - 1 = 12 - 1 = 11$ bayangan
- $n = \frac{360}{\alpha} - 1 = 8 - 1 = 7$ bayangan
- $n = \frac{360}{\alpha} - 1 = 2 - 1 = 1$ bayangan

3. Pemantulan pada cermin lengkung

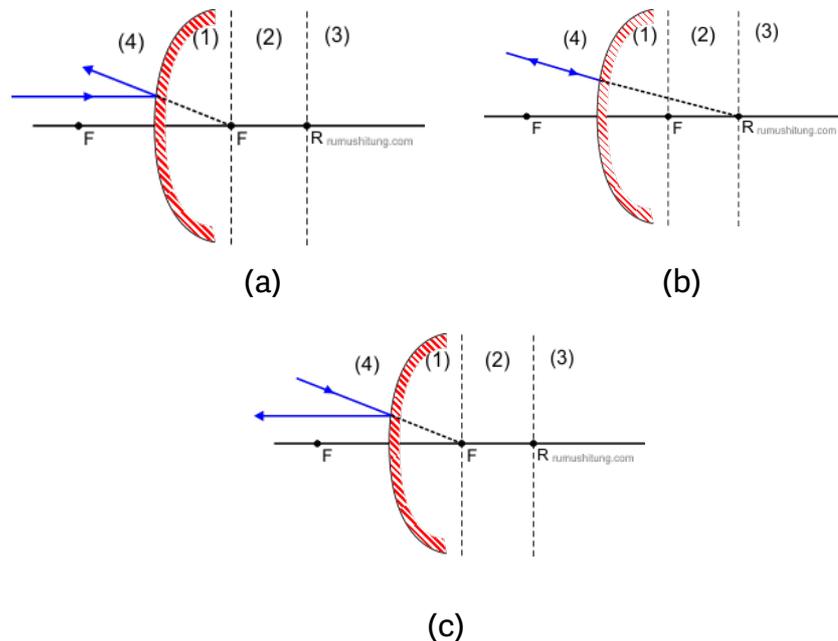
Cermin lengkung adalah cermin yang mempunyai permukaan pantul berbentuk lengkung. Cermin lengkung dibedakan menjadi 2 yaitu cermin cekung dan cermin cembung.

a. Cermin Cekung

Cermin cekung bersifat mengumpulkan sinar. Secara geometris dapat dibuktikan bahwa panjang focus (f) yaitu jarak cermin ke titik focus besarnya sama dengan setengah panjang jari-jari kelengkungan cermin.

$$f = \frac{R}{2}$$

1. Sifat cahaya (sinar) yang dipantulkan cermin cekung dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sifat cahaya pada cermin cekung

(sumber: <https://rumushitung.com/2013/03/10/cermin-datar-cermin-cekung-cermin-cembung/>)

- a. Sinar datang yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah dari fokus
- b. Sinar datang yang menuju R akan dipantulkan kembali dari R
- c. Sinar datang yang melalui titik lengkung (R) akan dipantulkan kembali ke arah yang sama.

2. Rumus umum cermin cekung

$$f = \frac{1}{s} - \frac{1}{s'}$$

dimana:

f = titik focus

s = jarak benda

s' = jarak bayangan

Sedangkan perbesaran bayangan menggunakan rumus

$$M = \frac{s'}{s} = \frac{h'}{h}$$

dimana:

M = perbesaran bayangan

h' = tinggi bayangan

h = tinggi benda

Contoh soal:

Sebuah benda setinggi 1 cm di depan cermin cekung dengan fokus 2 cm, jika benda berada pada jarak 3 cm, tentukan:

- a. Jarak bayangan (S')
- b. Perbesaran
- c. Tinggi bayangan (h')
- d. Sifat bayangan

Penyelesaian:

a. Jarak bayangan:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{3}{6} - \frac{2}{6}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{6}$$

$$s' = 6 \text{ cm}$$

b. Perbesaran:

$$M = \frac{s'}{s} = \frac{6}{3} = 2 \text{ kali}$$

c. Tinggi bayangan

$$M = \frac{h'}{h}$$

$$2 = \frac{h'}{1}$$

$$h' = 2 \text{ cm}$$

d. Sifat bayangan nyata, terbalik, diperbesar

b. Cermin Cembung

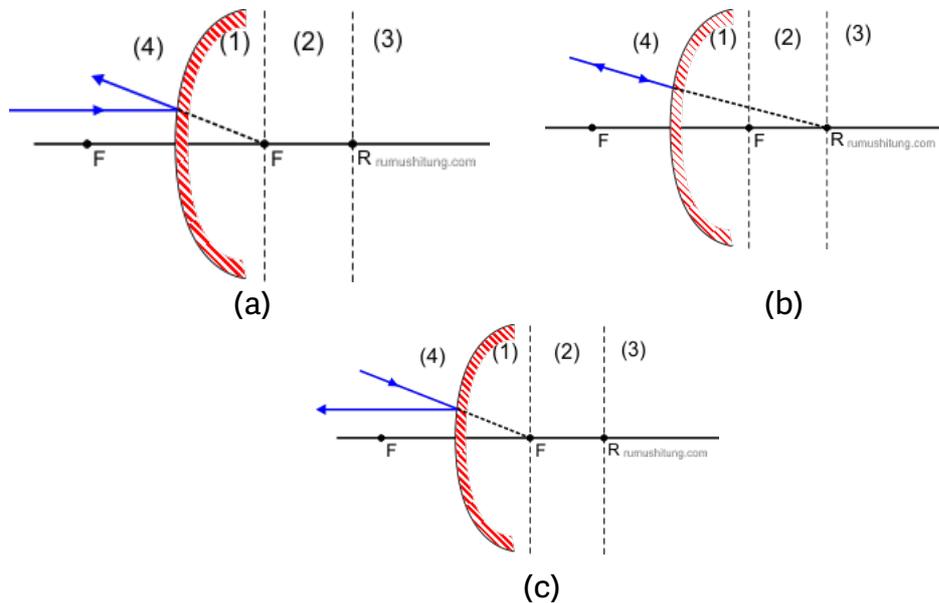
Cermin cembung bersifat menyebarkan sinar. Cermin cembung fokusnya bernilai negatif. Jadi dalam perhitungan matematisnya f selalu bernilai negatif. Sifat bayang yang dibentuk cermin cembung selalu maya, tegak, dan diperkecil.

1. Sinar – sinar istimewa yang dipantulkan cermin cembung

a. Sinar datang yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah dari fokus

b. Sinar datang yang menuju R akan dipantulkan kembali dari R

- c. Sinar datang yang menuju titik fokus akan dipantulkan sejajar dengan sumbu utama



Gambar 2.2 Sifat cahaya pada cermin cembung

(sumber: <https://rumushitung.com/2013/03/10/cermin-datar-cermin-cekung-cermin-cembung/>)

2. Rumus umum cermin cembung

Rumus atau persamaan cermin cembung mirip seperti cermin cekung hanya saja nilai fokusnya (f) negatif. Untuk rumus perbesaran cermin cembung sama seperti cermin cekung.

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Contoh soal:

Sebuah benda diletakkan 4 cm di depan cermin cembung dengan fokus 6 cm. Sifat bayangan yang terbentuk adalah?

Penyelesaian:

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$-\frac{1}{6} = \frac{1}{4} + \frac{1}{s'}$$

$$\begin{aligned}
-\frac{1}{s'} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{4} \\
-\frac{1}{s'} &= \frac{2}{12} + \frac{3}{12} \\
-\frac{1}{s'} &= \frac{5}{12} \\
s' &= \frac{12}{5} = -2,4 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Sifat bayangan tegak, maya dan diperkecil.

c. Pembiasan Cahaya

1. Pengertian pembiasan

Pembiasan cahaya adalah peristiwa pembelokan arah rambat cahaya ketika cahaya melewati bidang batas antara dua medium bening yang memiliki indeks bias berbeda. Indeks bias merupakan ukuran kemampuan suatu medium untuk membelokkan cahaya. Ketika cahaya bergerak dari satu medium ke medium lain, misalnya dari udara ke air, kecepatannya akan berubah karena sifat optik kedua medium berbeda. Perubahan kecepatan ini menyebabkan arah rambat cahaya juga berubah atau dibelokkan.

Jika cahaya memasuki medium yang lebih rapat optiknya (indeks bias lebih besar), maka cahaya akan dibelokkan mendekati garis normal. Sebaliknya, jika cahaya masuk ke medium yang kurang rapat (indeks bias lebih kecil), maka cahaya akan dibelokkan menjauhi garis normal.

Contoh nyata dari pembiasan cahaya dapat kita lihat ketika pensil yang dimasukkan ke dalam gelas berisi air terlihat bengkok atau patah di permukaan air. Fenomena ini terjadi karena cahaya yang

berasal dari pensil dibiaskan saat berpindah dari air ke udara sebelum sampai ke mata kita.

Pembiasan cahaya merupakan prinsip penting dalam berbagai aplikasi optik, seperti lensaacamata, mikroskop, kamera, dan prisma, serta berperan dalam fenomena alam seperti pelangi dan fatamorgana.

2. Hukum pembiasan

Hukum pembiasan cahaya yang selengkapnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Sinar datang adalah sinar yang datang pada bidang batas dua medium
2. Sinar bias adalah sinar yang dibiaskan oleh bidang batas dua medium
3. Garis normal adalah garis yang tegak lurus pada bidang batas dua medium
4. Sudut datang (i) adalah sudut antara sinar datang dengan garis normal
5. Sudut bias (r) adalah sudut antara sinar bias dengan garis normal
6. Indeks bias mutlak suatu medium (n) didefinisikan sebagai perbandingan cepat rambat cahaya diruang hampa (c) terhadap cepat rambat cahaya dimedium tersebut (v). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai

$$n = \frac{c}{v}$$

Indeks bias mutlak suatu medium didefinisikan sebagai

perbandingan antara cepat rambat cahaya diruang hampa dengan cepat rambat cahaya didalam medium tersebut

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Dimana n_{12} = indeks bias relative medium 1 terhadap medium 2

n_1 = indeks bias mutlak medium 1

n_2 = indeks bias mutlak medium 2

v_1 = laju cahaya dalam medium 1

v_2 = laju cahaya dalam medium 2

2. Optika Fisis

a. Dispersi cahaya

Dispersi cahaya adalah peristiwa terurainya cahaya putih menjadi berbagai warna spektrum saat melewati sebuah prisma kaca atau medium sejenis. Cahaya putih sebenarnya tersusun atas berbagai warna cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda, seperti merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu.

Ketika cahaya putih masuk ke dalam prisma, setiap komponen warna mengalami pembiasan dengan sudut yang berbeda. Hal ini terjadi karena indeks bias suatu medium tidak sama untuk semua panjang gelombang cahaya. Warna dengan panjang gelombang lebih pendek (seperti ungu dan biru) memiliki indeks bias lebih tinggi, sehingga dibiaskan lebih tajam dibandingkan warna dengan panjang gelombang lebih panjang (seperti merah).

Dengan demikian, dispersi cahaya sangat erat kaitannya dengan fenomena pembiasan, khususnya ketika cahaya melewati bidang miring

seperti prisma. Perbedaan sudut pembiasan antara warna-warna ini menyebabkan cahaya putih terurai menjadi spektrum warna, yang dikenal sebagai spektrum tampak.

Fenomena ini dapat diamati pada pelangi, cahaya dari CD atau DVD, serta pada alat optik seperti spektroskop. Dispersi juga menjadi dasar dalam berbagai teknologi optik untuk analisis cahaya, pemisahan warna, dan studi struktur atom melalui garis spektrum.

b. Sudut deviasi

Cahaya yang merambat melalui sebuah prisma akan mengalami dua kali pembiasan: pertama saat memasuki prisma dari udara, dan kedua saat keluar dari prisma menuju udara kembali. Pada peristiwa pertama, cahaya dibiaskan karena berpindah dari medium kurang rapat (udara) ke medium lebih rapat (kaca prisma), sehingga arahnya membelok mendekati garis normal. Kemudian saat cahaya keluar dari prisma, ia berpindah dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat, sehingga dibelokkan menjauhi garis normal.

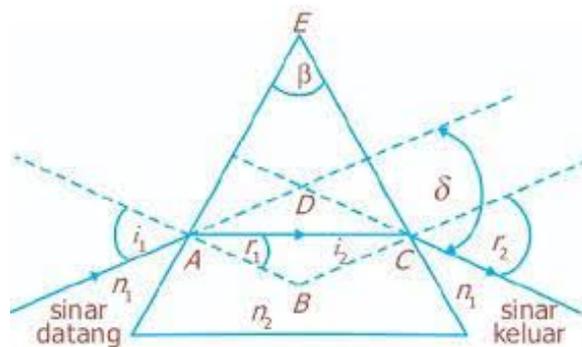
Karena bentuk prisma adalah bidang miring, arah sinar yang keluar tidak sejajar dengan arah sinar yang datang. Jika kita memperpanjang garis sinar datang dan garis sinar keluar, maka keduanya akan berpotongan pada suatu titik, dan membentuk sudut tertentu yang disebut sebagai sudut deviasi ($\angle\delta$).

Sudut deviasi adalah sudut yang dibentuk antara perpanjangan arah sinar datang dan arah sinar yang keluar dari prisma. Besarnya sudut deviasi tergantung pada beberapa faktor, seperti:

- Sudut datang sinar terhadap permukaan prisma,

- Sudut puncak prisma,
- Indeks bias bahan prisma,
- Panjang gelombang cahaya yang digunakan (karena indeks bias tergantung pada panjang gelombang).

Dalam konteks dispersi cahaya, sudut deviasi akan berbeda untuk setiap warna karena setiap warna cahaya memiliki indeks bias yang berbeda. Oleh sebab itu, cahaya putih yang masuk ke dalam prisma akan dibiaskan dengan sudut deviasi yang berbeda-beda untuk tiap komponen warnanya, yang menyebabkan cahaya terurai menjadi spektrum warna.



Gambar 2.3 Pembiasan cahaya pada prisma

(sumber:file:///Users/yusraidakhairani/Downloads/admin,+1+Kunlestiowati+(Hal+1-6)+DRAF+AKHIR+13+APRIL.pdf)

Contoh soal:

Seberkas sinar datang dengan sudut datang 45° melwati suatu prisma sama sisi yang berada di udara dan terjadi deviasi minimum. Tentukanlah sudut deviasi minimum?

Penyelesaian

Diketahui:

$$i_1 = 45^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

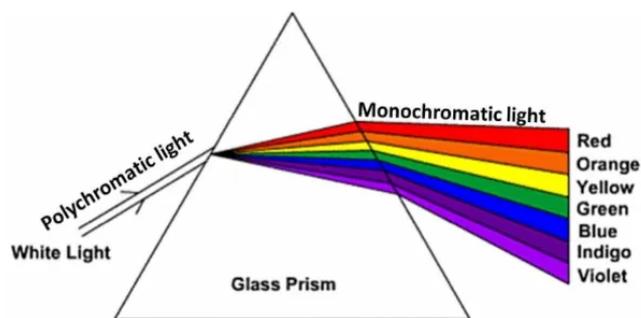
$$n_m = 1 \text{ (udara)}$$

Maka, sudut deviasi minimum

$$D_m = 2i_1 - \beta = 2(45^\circ) - 60^\circ = 30^\circ$$

c. Sudut dispersi

Pada Gambar 2.3 tampak bahwa cahaya putih yang melalui prisma diuraikan menjadi spektrum warna yaitu warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Hal ini menunjukkan bahwa sesungguhnya cahaya putih tersebut merupakan gabungan dari ketujuh warna diatas. Cahaya yang merupakan gabungan dari beberapa jenis warna disebut polikromatis. Sedangkan cahaya yang hanya tersiri dari satu warna disebut monokromatis.



Gambar 2.4 Spektrum warna (sumber:

<https://sonathephysic.blogspot.com/2011/05/dispersi-cahaya.html>)

Apabila spektrum warna hasil dispersi diurutkan dari warna merah hingga ungu maka diperoleh beberapa sifat : sudut deviasi semakin besar , indeks bias semakin besar, frekuensi semakin besar dan panjang gelombang semakin kecil.

d. Interferensi cahaya

Interferensi cahaya adalah peristiwa perpaduan atau superposisi dua gelombang cahaya yang menghasilkan pola intensitas cahaya baru. Pola ini muncul karena gelombang-gelombang tersebut saling menambah atau

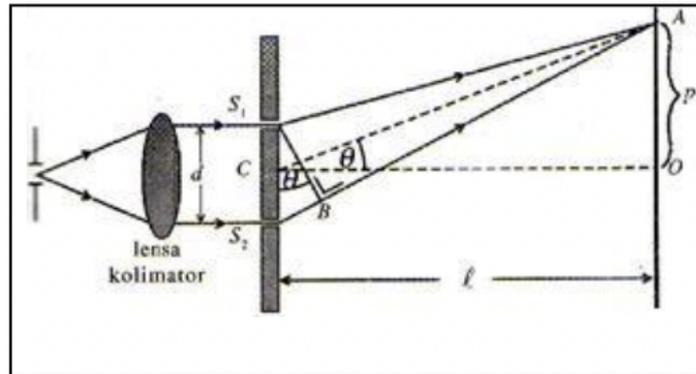
saling mengurangi satu sama lain, tergantung pada perbedaan fase di antara keduanya.

Agar interferensi menghasilkan pola yang teratur dan stabil, kedua gelombang cahaya yang berinterferensi harus bersifat koheren. Artinya, gelombang-gelombang tersebut harus memiliki frekuensi dan amplitudo yang sama atau hampir sama, serta memiliki beda fase yang tetap terhadap waktu. Koherensi ini sangat penting agar perpaduan antara gelombang tetap konsisten dan menghasilkan pola interferensi yang dapat diamati secara jelas.

Ketika dua gelombang cahaya koheren bertemu:

- Jika fase kedua gelombang selaras (puncak bertemu puncak dan lembah bertemu lembah), maka terjadi interferensi konstruktif. Hal ini menghasilkan garis terang pada layar sebagai hasil dari penguatan intensitas cahaya.
- Jika fase kedua gelombang berlawanan (puncak bertemu lembah), maka terjadi interferensi destruktif. Ini menghasilkan garis gelap karena pengurangan atau bahkan saling meniadakan intensitas cahaya.

Pola terang-gelap ini disebut pola interferensi, dan dapat diamati dalam berbagai percobaan optik, seperti percobaan Young dengan dua celah, yang merupakan bukti kuat bahwa cahaya memiliki sifat gelombang. Interferensi cahaya memiliki banyak aplikasi penting, misalnya dalam interferometer, yang digunakan untuk mengukur jarak atau ketebalan dengan sangat presisi, teknologi holografi, sensor optik, dan penelitian ilmiah dalam fisika kuantum dan optik gelombang.



Gambar 2.5 Percobaan interferensi Young (Tsalatsin dkk, (2024))

1. Interferensi celah ganda

Interferensi celah ganda adalah salah satu eksperimen paling terkenal dalam fisika yang menunjukkan sifat gelombang cahaya. Percobaan ini pertama kali dilakukan oleh Thomas Young pada awal abad ke-19, dan dikenal sebagai Percobaan Young. Melalui eksperimen ini, terbukti bahwa cahaya dapat mengalami interferensi, suatu karakteristik khas dari gelombang.

Dalam percobaan ini, cahaya monokromatik (cahaya dengan satu panjang gelombang, seperti dari laser) diarahkan pada dua celah sempit yang sejajar dan berdekatan. Celah-celah ini bertindak sebagai dua sumber cahaya koheren, karena berasal dari sumber cahaya yang sama dan memiliki frekuensi serta fase yang tetap terhadap satu sama lain.

Cahaya dari kedua celah kemudian menyebar dan berinterferensi di suatu layar yang diletakkan di belakang celah. Di layar tersebut, terbentuk pola interferensi berupa garis-garis terang dan gelap yang berselang-seling.

Garis terang (interferensi konstruktif) terjadi ketika gelombang dari kedua celah tiba di titik yang sama dalam fase, yaitu puncak bertemu puncak

atau lembah bertemu lembah. Pada titik ini, intensitas cahaya menjadi maksimum.

Garis gelap (interferensi destruktif) terjadi ketika gelombang dari kedua celah tiba dalam kondisi berlawanan fase, yaitu puncak bertemu lembah. Ini menyebabkan pengurangan atau saling meniadakan intensitas cahaya sehingga tampak gelap.

Jarak antara garis-garis terang (atau gelap) bergantung pada panjang gelombang cahaya (λ), jarak antara kedua celah (d), jarak dari celah ke layar (L). Pola ini mengikuti persamaan interferensi:

$$y_n = \frac{n\lambda L}{d}$$

dimana:

y_n = posisi garis terang ke- n dari pusat,

λ = panjang gelombang cahaya,

L = jarak dari celah ke layar,

d = jarak antara kedua celah,

n = orde interferensi (0, 1, 2, ...).

2. Interferensi maksimum (terang)

Interferensi maksimum pada celah ganda akan terjadi jika kedua gelombang memiliki fase yang sama, yaitu ketika beda lintasannya sama dengan nol atau kelipatan dari panjang gelombang. Syarat dari interferensi maksimum adalah:

$$d \sin \theta = n\lambda ; n = 0, 1, 2, \dots$$

bilangan n menyatakan orde dan nomer terang. Untuk $n = 0$ disebut maksimum orde ke nol atau terang pusat, untuk $n = 1$ disebut terang ke-1 dan seterusnya.

3. Interferensi minimum (gelap)

Interferensi minimum pada celah ganda akan terjadi jika kedua gelombang berbeda fase sebesar 180° , yaitu ketika benda lintasannya sama dengan bilangan ganjil kali setengah panjang gelombang. Syarat terjadinya interferensi minimum ialah:

$$d \sin \theta = (2n - 1) \frac{1}{2} \lambda$$
$$d \sin \theta = (n - \frac{1}{2}) \lambda ; n = 1, 2, 3, \dots$$

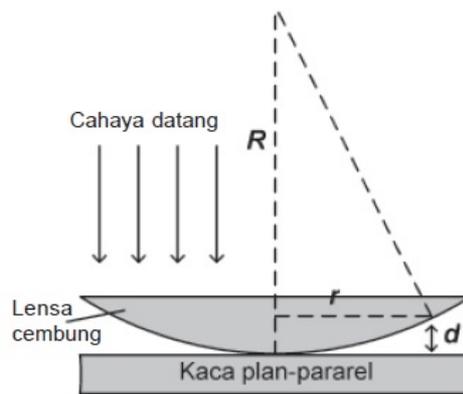
bilangan n menyatakan orde atau nomer gelap, untuk $n = 1$ disebut minimum orde ke-1 atau gelap ke-1 dan seterusnya.

4. Interferensi lapisan tipis

Peristiwa interferensi pada lapisan tipis dapat kita amati pada embun atau gelembung air sabun yang terkena sinar matahari maupun lapisan tipis minyak tanah yang tumpah diatas air sehingga memancarkan warna-warna cahaya tertentu.

5. Cincin Newton

Cincin Newton merupakan pola interferensi berupa lingkaran-lingkaran gelap dan terang secara berurutan. Pola interferensi cincin Newton ini terjadi jika cahaya yang panjang gelombangnya datang dalam arah tegak lurus pada sistem optik yang terdiri dari sebuah lensa cembung datar (plan konveks) dengan jari-jari R diletakkan diatas kaca plan paralel seperti tampak Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Cincin Newton (sumber:

<https://akupintar.id/documents/20143/0/cahaya+37.png/e07a782a-9ff7-af03-b6b3-2b1ab25b0c55?t=1610447623583>)

e. Difraksi cahaya

Difraksi cahaya adalah peristiwa pelenturan gelombang cahaya ketika melewati celah sempit (lebarnya lebih kecil dari panjang gelombang), sehingga gelombang cahaya tampak melebar pada tepi celah. Cahaya tidak lagi menurut garis lurus yang mengakibatkan terjadinya interferensi sehingga tepi – tepi bayangan menjadi kabur.

1. Difraksi celah tunggal

Pada difraksi celah tunggal ini kita akan membahas difraksi fraunhofer yaitu difraksi yang dapat diterangkan dengan menggunakan prinsip Huygens yang menyatakan bahwa tiap bagian dari celah sebagai sebuah gelombang dengan demikian cahaya dari satu bagian celah berinterferensi dengan bagian cahaya dari bagian lainnya dengan intensitas resultan pada layar bergantung pada sudut θ .

2. Difraksi celah majemuk (kisi)

Kisi adalah peralatan yang memiliki celah yang sangat banyak dengan lebar celah dan jarak antar celah yang sama. Pola difraksi yang dihasilkan

oleh kisi lebih jauh tajam bila dibandingkan dengan pola interferensi celah ganda maupun pola difraksi celah tunggal.

3. Pengaruh difraksi terhadap perbesaran maksimum pada alat optik

Pada umumnya alat optik memiliki diafragma (bukan cahaya) berbentuk lingkaran. Akibatnya difraksi karena lubang sempit berbentuk lingkaran ini mengurangi kemampuan pemisahan bayangan dari suatu alat optik. Semakin besar diafragma suatu alat optik, maka akan semakin besar daya urainya. Daya urai suatu alat optik adalah kemampuan alat optik untuk menghasilkan bayangan yang terpisah dari dua benda yang berdekatan. Suatu kriteria yang menyatakan bagaimana bayangan dari dua benda titik masih dapat dipisahkan dengan baik oleh suatu alat optik disebut kriteria Rayleigh.

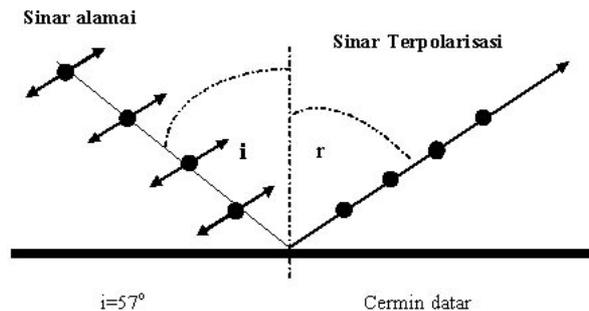
f. Polarisasi cahaya

Dua titik sumber dapat dilihat terpisah bila pusat pola difraksi sumber pertama berhimpit dengan minimum pertama pola difraksi sumber kedua. Peristiwa interferensi dan difraksi dapat dialami oleh gelombang transversal maupun gelombang longitudinal. Akan tetapi peristiwa polarisasi hanya dapat dialami oleh gelombang transversal. Fakta bahwa cahaya dapat mengalami polarisasi menunjukkan bahwa cahaya merupakan gelombang transversal. Pada umumnya cahaya memiliki beberapa arah getar. Apabila suatu gelombang hanya memiliki satu arah getar, maka disebut gelombang terpolarisasi. Oleh karena itu, polarisasi adalah peristiwa terserapnya sebagian arah getar gelombang sehingga hanya tinggal memiliki satu arah getar saja. Cahaya dapat terpolarisasi karena peristiwa pemantulan, pembiasan dan pemantulan bias kembar,

absorpsi selektif, dan hamburan.

1. Polarisasi karena pemantulan

Suatu sinar yang datang pada cermin datar dengan sudut 57° akan menghasilkan sinar pantul yang terpolarisasi seperti tampak pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Polarisasi karena pemantulan
(sumber: <https://tienkartina.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/09/polarisasi-5.jpg>)

2. Polarisasi karena pembiasan dan pemantulan

Pada peristiwa pembiasan dan pemantulan akan dihasilkan sinar pantul yang terpolarisasi sempurna jika sudut datang i menghasilkan sudut bias r tegak lurus dengan sinar pantul. Sudut datang seperti ini disebut sudut polarisasi i_p sudut Brewster.

3. Polarisasi karena bias kembar (pembiasan ganda)

Cahaya yang melewati kaca, pada umumnya bergerak dengan kelajuan yang sama ke segala arah karena hanya memiliki satu indeks bias. Akan tetapi bahan – bahan kristal tertentu seperti kalsit dan kuarsa memiliki dua indeks bias sehingga kelajuan cahaya tidak sama untuk segala arah. Hal ini menyebabkan cahaya mengalami pembiasan ganda.

4. Polarisasi karena absorpsi selektif

Suatu bahan tertentu misalnya polaroid dapat menyerap berbagai arah getar sinar ang melaluinya dan mentransmisikan ke satu arah tertentu sumbu mudah polaroid. Polaroid sering digunakan pada kacamata pelindung sinar matahari dan pada filter polarisasi lensa kamera. Untuk menentukan arah polarisasi dengan intensitas cahaya yang ditransmisikan digunakan untuk dua buah polaroid.

5. Polarisasi karena hamburan

Hamburan adalah peristiwa penyerapan dan pemancaran kembali suatu cahaya oleh sistem partikel. Apabila gelombang cahaya yang tidak terpolarisasi datang pada sistem partikel gas, maka gelombang cahaya yang dihamburkan ke samping dapat terpolarisasi sebagian atau seluruhnya. Arah polarisasi gelombang cahaya adalah sedemikian rupa sehingga tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh garis sinar datang dengan garis penglihatan.

6. Pemutaran bidang polarisasi

Apabila gelombang cahaya terpolarisasi melewati zat optik aktif, misalnya larutan gula pasir, maka arah polarisasinya dapat berputar. Besarnya sudut perubahan arah polarisasi cahaya θ bergantung pada konsentrasi larutan c panjang larutan l dan sudut putar jenis larutan α .

g. Efek Doppler pada gelombang elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik seperti cahaya tidak memerlukan medium untuk merambat. Kelajuan gelombang elektromagnetik c besarnya sama terhadap semua kerangka acuan baik sumber atau pengamat yang diam ataupun yang bergerak. Karena tidak ada medium sebagai acuan kelajuan

gerak gelombang elektromagnetik maka efek doppler pada gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada kecepatan relatif v antara sumber dan pengamat.

Efek doppler digunakan pada pengukuran kecepatan radial gerak benda langit seperti bintang, planet, satelit, komet atau galaksi terhadap bumi. Gerak benda langit terhadap bumi mengakibatkan pergeseran spektrum cahaya yang dipancarkan. Jika sebuah benda mendekati bumi maka akan tampak pergeseran biru, sedangkan jika bintang tersebut menjauh akan berwarna pergeseran merah. Pada tahun 1929 seorang astronomi Amerika Edwin Hubble mempublikasikan penelitiannya bahwa galaksi – galaksi yang jauh bergerak menjauhi bumi karena cahaya yang dipancarkan bergeser menuju panjang gelombang yang lebih panjang, yaitu gelombang cahaya merah (pergeseran merah) kelajuan galaksi relatif terhadap bumi dapat ditentukan dengan mengukur pergeseran ini.

3. Aplikasi optik dalam bidang Teknik Perminyakan

Dalam dunia teknik perminyakan yang sarat teknologi tinggi, ilmu optik berperan penting dalam berbagai aspek mulai dari eksplorasi hingga produksi minyak dan gas bumi. Optik digunakan untuk mendeteksi, memantau, dan menganalisis kondisi bawah permukaan serta peralatan penunjang operasi di lapangan. Berikut beberapa aplikasi utama optik dalam industri perminyakan:

1. Fiber Optic Sensing (Penginderaan Serat Optik)

Teknologi serat optik digunakan untuk memantau kondisi sumur minyak dan gas secara real-time. Serat optik ini mampu mengukur tekanan dan

suhu di dalam sumur, getaran dan aliran fluida, deteksi kebocoran atau perubahan struktur di sekitar sumur. Keunggulannya adalah bahwa sistem ini dapat bekerja pada kondisi ekstrem dan memiliki ketahanan tinggi terhadap suhu dan tekanan tinggi di bawah tanah.

2. Distributed Temperature Sensing (DTS) dan Distributed Acoustic Sensing (DAS). Merupakan teknologi berbasis serat optik yang memungkinkan pemantauan profil suhu sepanjang pipa sumur (DTS) dan getaran atau akustik yang dihasilkan oleh aliran fluida dalam pipa (DAS). Data ini sangat berguna untuk memetakan aliran fluida di dalam reservoir, mendeteksi zonasi produktif, dan mengoptimalkan produksi.

3. Spektroskopi Optik

Spektroskopi adalah teknik optik yang digunakan untuk menganalisis komposisi fluida (seperti minyak, gas, air) berdasarkan interaksi cahaya dengan materi. Dalam perminyakan, spektroskopi digunakan untuk mengidentifikasi jenis hidrokarbon, mendeteksi kontaminan atau kandungan air dalam minyak, karakterisasi sampel batuan inti (core analysis).

4. Optical Imaging dan Mikroskopi

Teknologi optik juga digunakan untuk mengamati mikrostruktur batuan reservoir, misalnya melalui mikroskopi polarisasi atau pencitraan digital. Ini membantu dalam menentukan porositas dan permeabilitas batuan, menganalisis struktur pori dan pola rekahan, studi kerapatan dan kandungan mineral batuan reservoir.

5. Laser-based Measurement and Cutting

Laser digunakan dalam beberapa aplikasi seperti pemotongan presisi

dalam pembuatan peralatan bawah permukaan, pengukuran dimensi dan deteksi cacat pada peralatan pengeboran, eksplorasi menggunakan sistem laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017). Fisika Dasar 2, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Aji, S.D., Hudha, M.N. (2019). Fisika Dasar II, Kanjuruhan Press.
- Cholis, B., Yuniarti, H. (2008). Fisika Gel. Bunyi dan Optik, Universitas Trisakti.
- Tsalatsin, M.N., Masturi. (2014). Penentuan Panjang Gelombang Sinar Menggunakan Interferensi Celah Ganda Sederhana, Jurnal Fisika, 4(2), 69-73.
- Yuberti. (2014). Konsep Materi Fisika Dasar 2, Anugrah Utama Raharja.
<https://www.youtube.com/watch?v=P-xQ9RjBuNw>
<https://www.mdpi.com/2073-4441/14/7/1123>
<https://aquascapedecor.blogspot.com/2015/05/spektrum-cahaya-yang-dibutuhkan-untuk.html>
<https://www.mikirbae.com/2021/12/pengertian-bunyi-dan-sumber-energi-bunyi.html>
<https://rumushitung.com/2013/03/10/cermin-datar-cermin-cekung-cermin-cembung/>
[file:///Users/yusraidakhairani/Downloads/admin,+1+Kunlestiowati+\(Hal+1-6\)+DRAF+AKHIR+13+APRIL.pdf](file:///Users/yusraidakhairani/Downloads/admin,+1+Kunlestiowati+(Hal+1-6)+DRAF+AKHIR+13+APRIL.pdf)
<https://sonathephysic.blogspot.com/2011/05/dispersi-cahaya.html>
<https://akupintar.id/documents/20143/0/cahaya+37.png/e07a782a-9ff7-af03-b6b3-2b1ab25b0c55?t=1610447623583>
<https://tienkartina.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/09/polarisasi-5.jpg>