



**ZAHIR**  
publishing

# ***Fisika*** ***Terapan***

Lusiani - Arief Muliawan - Ratnadewi - Erwinsyah Satria  
Herman Hi. Tjolleng Taba - Tanwir - Juarni Siregar  
Ahmad Yani - A. Sediyo Adi Nugraha - Handini Widyastuti

# FISIKA TERAPAN

Lusiani  
Arief Muliawan  
Ratnadewi  
Erwinsyah Satria  
Herman Hi. Tjolleng Taba  
Tanwir  
Juarni Siregar  
Ahmad Yani  
A Sediyo Adi Nugraha  
Handini Widyastuti

# **FISIKA TERAPAN**

## **Penulis**

Lusiani  
Arief Muliawan  
Ratnadewi  
Erwinsyah Satria  
Herman Hi. Tjolleng Taba  
Tanwir  
Juarni Siregar  
Ahmad Yani  
A Sediyo Adi Nugraha  
Handini Widyastuti

## **Editor**

Dr. Dian Utami Sutiksno, S.E., M.Si.  
Dr. Ratnadewi, S.T., M.T.  
Ismi Aziz

## **Tata Letak**

Ulfa

## **Desain Sampul**

HUFA Design

15.5 x 23 cm, viii + 159 hlm.

Cetakan I, September 2021

**ISBN:** 978-623-6398-75-3

**ISBN digital:** 978-623-6398-76-0 (PDF)

Diterbitkan oleh:

**ZAHIR PUBLISHING**

Kadisoka RT. 05 RW. 02, Purwomartani,  
Kalasan, Sleman, Yogyakarta 55571  
e-mail : zahirpublishing@gmail.com

Anggota IKAPI D.I. Yogyakarta

bekerja sama dengan



**Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.**

Dilarang mengutip atau memperbanyak  
sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari penerbit.

# KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat serta karunia-Nya sehingga buku berjudul *Fisika Terapan* ini telah dapat kami selesaikan.

Buku ini dilengkapi penjelasan teori serta contoh aplikasi fisika terapan dalam beberapa bidang keilmuan. Buku *Fisika Terapan* ini dapat digunakan untuk kalangan sekolah menengah, khususnya sekolah menengah kejuruan, serta perguruan tinggi baik dalam mata kuliah dasar maupun mata kuliah terapan.

Buku ini tersusun menjadi beberapa bab sebagai berikut:

- Bab 1 : Pengantar Fisika Terapan
- Bab 2 : Analisis Vektor
- Bab 3 : Dinamika
- Bab 4 : Hidrostatika
- Bab 5 : Usaha dan Energi
- Bab 6 : Arus dan Tahanan
- Bab 7 : Medan Magnet
- Bab 8 : Fluida
- Bab 9 : Suhu dan Kalor
- Bab 10 : Teori Relativitas

Semoga sumbangsih pemikiran sederhana dalam buku ini dapat memberi manfaat konstruktif bagi semua pihak yang membaca dan membutuhkan.

Demi Indonesia yang lebih sejahtera melalui inovasi terapan ilmu Fisika.

Cilacap, Agustus 2021

**Penulis**



# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
<b>BAB 1. PENGANTAR FISIKA TERAPAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Pengantar Fisika Terapan.....	1
1.2 Analisis dan Vektor.....	5
1.3 Dinamika.....	6
1.4 Hidrostatika.....	6
1.4.1 Gaya Hidrostatik pada Permukaan Terendam .....	6
1.4.2 Gaya Hidrostatik dalam Survei yang Terendam Permukaan .....	6
1.5 Usaha dan Energi .....	6
1.5.1 Usaha dan Energi.....	6
1.5.2 Daya Konten Lainnya .....	7
1.6 Arus dan Tahanan .....	8
1.7 Medan Magnet.....	9
1.8 Fluida.....	9
1.9 Suhu dan Kalor.....	10
1.10 Teori Relativitas.....	11
1.11 Kesimpulan.....	11
<b>BAB 2. ANALISIS VEKTOR.....</b>	<b>14</b>
2.1 Pendahuluan .....	14
2.2 Sifat Vektor.....	16
2.3 Perkalian Skalar dan Vektor .....	18
2.3.1 Perkalian Skalar .....	19
2.3.2 Perkalian Vektor.....	20
2.4 Operator Differensial Vektor.....	23
2.5 Kesimpulan.....	27

<b>BAB 3. DINAMIKA.....</b>	<b>28</b>
3.1 Pendahuluan .....	28
3.2 Bagaimana Tubuh Bergerak? .....	28
3.3 Posisi, Jarak, dan Perpindahan .....	29
3.4 Kecepatan dan Kecepatan Rata-Rata .....	30
3.5 Percepatan .....	32
3.6 Benda Jatuh Bebas .....	34
3.7 Gaya dan Gerakan .....	36
3.8 Hukum Newton Pada Gerak .....	37
<b>BAB 4. HIDROSTATIKA .....</b>	<b>47</b>
4.1 Pendahuluan .....	47
4.2 Cair dan Gas .....	48
4.3 Tekanan .....	50
4.3.1 Tekanan dalam Zat Cair .....	52
4.4 Kesimpulan .....	64
<b>BAB 5. USAHA DAN ENERGI .....</b>	<b>67</b>
5.1 Pendahuluan .....	67
5.2 Usaha, Unit dari Kerja dan Daya .....	68
5.2.1 Usaha .....	68
5.2.2 Daya .....	72
5.2.3 Unit dari Kerja dan Daya .....	72
5.3 Energi .....	74
5.3.1 Konservasi Energi .....	74
5.3.2 Energi Kinetik .....	75
5.3.3 Sifat Dari Energi Potensial .....	77
5.3.4 Kerja Dari Deformasi .....	77
5.3.5 Energi Ketegangan Dari Sebuah Pegas .....	78
5.3.6 <i>Friction Work</i> .....	79
5.4 Kesimpulan .....	80
<b>BAB 6. ARUS DAN TAHANAN .....</b>	<b>81</b>
6.1 Pendahuluan .....	81
6.2 Arus .....	81

6.3 Tahanan .....	91
6.3.1 Carbon Composition Resistor (Resistor Komposisi Karbon) .....	93
6.3.2 Carbon Film Resistor (Resistor Film Karbon) .....	93
6.3.3 Metal Film Resistor (Resistor Film Logam) .....	93
6.4 Kesimpulan .....	95
<b>BAB 7. MEDAN MAGNET .....</b>	<b>97</b>
7.1 Pendahuluan .....	97
7.2 Flux Magnet .....	98
7.3 Induksi Magnet .....	100
7.3.1 Induksi Magnet pada Kawat Berarus Listrik .....	101
7.3.2 Induksi Magnet pada Kawat Melingkar Berarus .....	102
7.3.3 Induksi Magnet Pada Selenoida Berarus .....	102
7.3.4 Induksi Magnet Pada Toroida Berarus .....	104
7.4 Gaya Magnetik .....	105
7.4.1 Pada Magnet Permanen .....	105
7.4.2 Pada Muatan Listrik Bergerak .....	106
7.4.3 Pada Kawat Listrik Bergerak .....	106
7.4.4 Pada Kumpanan Berarus .....	107
7.4.5 Pada Interaksi Kawat Sejajar .....	107
7.4.6 Pada Lintasan Muatan Listrik dalam Medan Magnet Homogen .....	108
<b>BAB 8. FLUIDA .....</b>	<b>110</b>
8.1 Pendahuluan .....	110
8.2 Sifat - Sifat Fluida .....	110
8.2.1 Kerapatan Massa Zat ( $\rho$ ) .....	110
8.2.2 Berat Jenis ( $\gamma$ ) .....	111
8.2.3 Kerapatan Relatif .....	112
8.2.4 Viscositas (Kekentalan) Suatu Fluida .....	113
8.2.5 Tekanan Fluida .....	115
8.3 Statika Fluida .....	116
8.3.1 Tekanan Pada Fluida Statik .....	116
8.3.2 Tekanan Rata-Rata .....	117



8.3.3 Tekanan Hidrostatik.....	118
8.4 Dinamika Fluida.....	120
8.4.1 Persamaan Dasar Aliran Fluida.....	120
8.5 Kesimpulan.....	124
<b>BAB 9. SUHU DAN KALOR.....</b>	<b>126</b>
9.1 Konsep Suhu.....	126
9.2 Perpindahan Panas (Kalor).....	130
9.2.1 Konduksi.....	131
9.2.2 Konveksi.....	134
9.2.3 Radiasi Termal.....	136
<b>BAB 10. TEORI RELATIVITAS.....</b>	<b>144</b>
10.1 Pendahuluan.....	144
10.2 Teori Relativitas Khusus.....	145
10.2.1 Postulat Pertama Einstein.....	145
10.3 Teori Relativitas Umum.....	152
10.4 Kesimpulan.....	154
BIODATA PENULIS.....	156

# BAB 1

## PENGANTAR FISIKA TERAPAN

**Lusiani**

Akademi Maritim Nusantara  
anilusi0287@gmail.com

### 1.1 Pengantar Fisika Terapan

Fisika merupakan kelompok ilmu eksakta dalam dunia pendidikan. Fisika satu rumpun ilmu dengan matematika dan ilmu pengetahuan alam. Ilmu Pengetahuan Alam terdiri dari 3 bidang ilmu yaitu kimia, fisika, biologi. Jika mempelajari IPA, maka tercakup 3 bidang ilmu tersebut di dalamnya. Fisika merupakan ilmu dasar yang dapat diterapkan dalam berbagai bidang dalam kehidupan. Fisika merupakan ilmu yang mempelajari gejala fisik alam dan sekitarnya.

Bermula dengan Fisika Dasar yang dapat dipelajari di sekolah menengah pertama, kemudian diperdalam di sekolah menengah atas, selanjutnya ke tingkat yang lebih tinggi yaitu di perguruan tinggi yang banyak dikemas menjadi Fisika Terapan. Fisika Dasar merupakan ilmu yang mempelajari fisika secara mendasar serta menyeluruh dari hukum, konsep, prinsip serta teori fisika, sedangkan fisika terapan merupakan aplikasi ilmu yang dipelajari di fisika dasar kemudian diterapkan di beberapa bidang dengan memberikan gambaran terapan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini digunakan oleh beberapa sekolah maupun perguruan tinggi. Contohnya: di tingkat sekolah fisika terapan dipelajari di sekolah menengah kejuruan yang mempelajari teknik otomotif, teknik kendaraan ringan, sedangkan pada tingkat perguruan tinggi fisika terapan dipelajari dalam teknik mesin (umum), teknik mesin kapal, kedokteran, teknik metalurgi dan berbagai bidang ilmu terapan lain.

Buku ini secara keseluruhan terdiri dari 10 bab antara lain: Pengantar Fisika Terapan; Analisis dan Vektor; Dinamika; Hidrostatika;

Usaha dan Energi; Arus dan Tahanan; Medan Magnet; Fluida; Suhu dan Kalor; Teori Relativitas. Buku ini dilengkapi penjelasan teori serta contoh aplikasi fisika terapan dalam beberapa bidang keilmuan. Buku *Fisika Terapan* ini dapat digunakan untuk kalangan sekolah menengah, khususnya sekolah menengah kejuruan, serta perguruan tinggi baik dalam mata kuliah dasar maupun mata kuliah terapan.

Salah satu mata pelajaran dalam rumpun sains yang sangat erat kaitannya dalam kehidupan sehari-hari manusia yaitu Fisika (Saregar, 2016).

Apa itu Fisika? Salah satu tujuan fisika adalah mempelajari gerak suatu benda, misalnya kecepatan benda dan jarak benda bergerak dalam waktu tertentu. Insinyur NASCAR sangat antusias dengan aspek fisika ini karena mereka menentukan kinerja mobil sebelum dan selama balapan. Ahli geologi menggunakan fisika untuk mengukur pergerakan lempeng tektonik ketika mereka mencoba memprediksi gempa bumi. Peneliti medis membutuhkan fisika ini untuk mendiagnosis aliran darah melalui pasien ketika mendiagnosis arteri yang tertutup sebagian, dan pengendara menggunakannya untuk menentukan seberapa baik mereka melambat ketika detektor radar memperingatkan. Ada banyak contoh lain yang tak terhitung jumlahnya (Halliday, Resnick, 2011).

Fisika sebagai produk merupakan fisika sebagai ilmu yang sistematis serta pengalaman empiris dalam bentuk fakta, konsep, penilaian, serta teori. Fisika merupakan gambaran terkait sikap ilmiah saat melakukan penelitian serta menemukan pengetahuan maupun konsep. Fisika merupakan proses menunjukkan deskripsi pengetahuan atau konsep diperoleh dengan observasi, penelitian, analisis, pemikiran, dan banyak lagi. Inti dari fisika bukan hanya pengetahuan tentang fakta, konsep, dan prinsip, tidak hanya sikap dan proses selama perolehan ilmu pengetahuan, tetapi semua sikap dan proses ilmiah untuk mendapatkan pengetahuan tentang alam. Pembelajaran fisika adalah proses berinteraksi dengan siswa (lingkungan mereka, guru, buku) untuk mendapatkan pengetahuan,

konsep, dan fakta tentang objek dan lingkungan alam secara logis (Wulandari et al., 2017)

Fisika adalah ilmu yang mempelajari jawaban terhadap pertanyaan kenapa, mengapa, serta bagaimana fenomena alam dapat terjadi. Selain itu, fisika juga termasuk bidang ilmu yang memainkan peran penting dalam pengembangan serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (Anaperta, 2015).

Fisika merupakan ilmu dasar, memiliki karakteristik yang meliputi membangun pengetahuan yang mencakup fakta, konsep, prinsip, hukum, postulat, dan teori dan metodologi ilmiah. Fisika dalam Studi Implementasi Fisika mempelajari studi dalam bentuk objek dan peristiwa alam menggunakan prosedur standar yang biasa disebut sebagai metode/proses ilmiah (Pratama & Istiyono, 2015).

Fisika adalah ilmu yang mempelajari fenomena alam. Fisika dicirikan oleh bentuk sederhana yang diterjemahkan ke dalam matematika serta dapat dipahami dan diturunkan dari penelitian, eksperimen, pengukuran, presentasi secara matematis (Pratama & Istiyono, 2015). *Conservation laws give out an urgent role in physics* (Ohanian, 2007).

Fisika merupakan salah satu ilmu pengetahuan alam dasar yang paling banyak digunakan sebagai dasar untuk ilmu lain. Fisika adalah studi tentang seluruh fenomena alam. Fisika membahas tentang fenomena, energi, dan fenomena alami yang terjadi, baik makroskopis (besar, seperti pergerakan bumi mengitari matahari) dan mikroskopis (kecil, sejenis pergerakan elektron di sekitar nukleus) terkait dengan perubahan materi atau energi. Fisika adalah dasar untuk berbagai perkembangan ilmiah dan teknologi. Hubungan antara fisika dan disiplin ilmu lain membentuk disiplin ilmu baru, misalnya terhadap astronomi yang membentuk astrofisika, terhadap biologi membentuk biofisika, terhadap ilmu kesehatan membentuk fisika medis, terhadap ilmu material yang membentuk fisika bahan, terhadap geologi yang membentuk geofisika, dan sebagainya (Sumarsono, 2008).

Fisika berasal dari bahasa Yunani yang memiliki pengertian alam. Fisika merupakan studi tentang fenomena-fenomena di alam. Fenomena pertama yang dialami indra manusia, seperti penglihatan optik atau cahaya, mendengar menemukan pelajaran tentang suara, dan indera sentuhan dapat merasakan panas. Mengapa mempelajari Fisika merupakan hal penting? Fisika adalah ilmu dasar, karena mengacu pada perilaku dan struktur benda, terutama benda mati. Secara historis, fisika merupakan bidang ilmu tertua, karena diawali dengan pengamatan pergerakan matahari serta benda angkasa lainnya, deskripsi periode serta lintasan dan beberapa hal lain (Sumarsono, 2008).

Di zaman modern, fisika telah sangat menyokong perkembangan teknologi, industri, komunikasi, termasuk teknik rekayasa (mesin), kimia, biologi, kedokteran, dan banyak lagi. Fisika dapat memberikan jawaban atas pertanyaan tentang fenomena menarik. Mengapa bumi mengitari matahari? Bagaimana udara dapat mempertahankan pesawat terbang yang memiliki massa yang cukup besar? Mengapa langit terlihat biru? Bagaimana siaran/acara TV menjangkau objek yang jauh? Mengapa listrik diperlukan dalam sistem komunikasi dan industri? Bagaimana rudal dapat ditargetkan pada target yang begitu jauh, bahkan antarbenua? Dan akhirnya, bagaimana pesawat bisa mendarat di bulan? Hal ini semua dipelajari dalam berbagai bidang fisika. Bidang fisika dibagi menjadi dua kelompok, antara lain fisika klasik dan fisika modern. Fisika klasik diperoleh dari fenomena yang dialami oleh indera. Fisika klasik mencakup mekanika, magnetik, panas, bunyi, optik, dan gelombang yang membentuk batas antara fisika klasik dan fisika modern. Fisika modern telah berkembang sejak abad ke-20, dimulai dengan teori relativitas serta radioaktivitas Einstein oleh keluarga Curie (Sumarsono, 2008).

Tujuan mempelajari fisika yaitu untuk memahami bagian dasar suatu objek serta memahami interaksi antarobjek, dan untuk menjelaskan fenomena alam yang terjadi. Meskipun fisika dibagi menjadi beberapa bidang, hukum fisika berlaku secara universal. Ulasan fenomena di bidang fisika tertentu akan mendapatkan hasil

yang sama apabila dipelajari dari bidang fisika lainnya. Selain itu konsep dasar fisika ini tidak hanya mendukung konstruksi fisika itu sendiri, namun pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi lainnya. Fisika mendukung penelitian murni dan terapan. Geologi dalam penelitian menggunakan metode gravimetri, akustik, listrik dan mekanik. Peralatan rumah sakit modern merupakan salah satu contoh fisika terapan. Astronom membutuhkan spektrum optik serta teknik radio. Sedemikian pula, ahli meteorologi (ilmu cuaca), kelautan, dan seismologi membutuhkan fisika (Sumarsono, 2008).

## 1.2 Analisis dan Vektor

Vektor merupakan jenis besaran yang memiliki sifat tertentu, memberikan peran penting di bidang fisika. Banyak kuantitas fisik adalah jenis jumlah vektor, misalnya, posisi serta turunannya dalam kaitannya dengan waktu, momentum serta turunannya yang terkait dengan medan waktu, medan magnet dan listrik, serta medan gravitasi. Hal inti yang membedakan antara besaran vektor dan besaran skalar yaitu bahwa, selain vektor mempunyai besar sama halnya besaran skalar, vektor juga memiliki arah yang bermakna dalam ruang angkasa. Arah ini akan ditunjukkan oleh vektor satuan atau hanya tanda positif atau negatif (Viridi, 2016).

Vektor merupakan jenis besaran yang memiliki nilai serta arah. Beberapa besaran yang termasuk besaran vektor yaitu perpindahan, gaya, kecepatan, akselerasi, dan sebagainya. Vektor didefinisikan sebagai segmen segmental yang memiliki titik penahan (titik dasar) sebagai titik awal vektor. Panjang garis menunjukkan nilai vektor serta arah panah menunjukkan arah vektor digunakan. Garis melalui vektor disebut garis kerja. Penulisan sebuah simbol dari vektor yaitu dengan cara huruf tegak yang dicetak tebal, contohnya vektor  $\mathbf{AB}$  ditulis **AB**. Selain itu, dapat juga dicetak miring dengan panah di atas, misalnya vektor  $\mathbf{AB}$  ditulis  $\overrightarrow{AB}$  (Sumarsono, 2008).

### **1.3 Dinamika**

Dinamika merupakan subbab dalam fisika yang mempelajari gerakan yang menjadi asal muasal pergerakan itu. Dalam fisika, bidang ini disebut dinamika. Usaha yang dilakukan oleh gaya luar serta momen luar setara dengan perubahan energi kinetik translasi serta rotasi benda tegar (Abdullah, 2001).

### **1.4 Hidrostatika**

#### **1.4.1 Gaya Hidrostatik pada Permukaan Terendam**

Sekarang kita telah menentukan bagaimana perbedaan tekanan dalam cairan statis, kita dapat memeriksa kekuatan permukaan yang dilepaskan oleh fluida. Untuk menentukan kekuatan hasil dalam pengaturan redup, kita perlu menentukan:

1. Daya luar biasa.
2. Arah energi.
3. Garis pada gaya aksi.

#### **1.4.2 Gaya Hidrostatik dalam Survei yang Terendam Permukaan**

Untuk permukaan yang melengkung, kemudian menghasilkan reaksi untuk energi yang dihasilkan dengan menggabungkan distribusi tekanan pada permukaan. Bagaimanapun juga, tidak seperti permukaan pesawat, kami memiliki masalah yang lebih kompleks - gaya normal diterapkan pada permukaan di setiap titik, tetapi sekarang sangat sedikit elemen area yang menunjukkan arah yang berbeda pada permukaan tertutup (Pritchard, 2011).

### **1.5 Usaha dan Energi**

#### **1.5.1 Usaha dan Energi**

Definisi usaha pada bagian sebelumnya mengasumsikan bahwa daya tetap konstan (berdasarkan ukuran dan arah). Tetapi banyak kekuatan yang tidak berkelanjutan, dan kita perlu meningkatkan definisi usaha untuk mengatasi gaya-gaya tersebut. Sebagai contoh, misalkan Anda mengendarai mobil tidak langsung di jalan lurus,

dan menganggap bahwa gaya yang diberikan tidak konstan - ketika bergerak di jalan, Anda kadang-kadang mendorong diri Anda perlahan dan tidak terlalu cepat (Ohanian, 2007).

### 1.5.2 Daya Konten Lainnya

Jika kekuatan yang bekerja pada partikel-partikel ini konservatif, maka energi kimia dari parlemen dilindungi. Tetapi jika beberapa gaya di mana partikel bertindak tidak konservatif, maka energi mekanik partikel –termasuk jumlah energi kinetik dan energi potensial terbebas dari semua gaya konservatif yang bekerja pada partikel– tidak akan dipertahankan. Misalnya, ketika gaya gesekan dapat diterapkan, ia kemudian melakukan aksi negatif dan dengan demikian mengurangi energi mekanik pada partikel (Ohanian, 2007).

Energi merupakan sesuatu yang ditransfer ke atau dari sistem saat sistem sedang beroperasi, sehingga usaha dapat berupa positif maupun negatif. Ketika kerja atau usaha positif, energi sistem meningkat. Sebaliknya, ketika usaha menjadi negatif, itu berarti energi sistem berkurang (Viridi, 2016).

Jika kendaraan menempuh perjalanan, maka selama perjalanan bahan bakar semakin berkurang hingga habis. Bahan bakar dalam bentuk energi kimia dikonversi menjadi energi mekanik, lalu digunakan pada mesin kendaraan untuk melakukan kerja (memindahkan posisi/letak kendaraan). Letak kendaraan dapat berubah saat mesin melakukan gaya. Timbulnya gaya serta perpindahan menginduksi energi yang dihasilkan oleh bahan bakar. Energi dihasilkan oleh bahan bakar merupakan besaran skalar serta hanya menghitungnya atau terlihat dari segi kuantitas. Sebaliknya, gaya dan perpindahan merupakan besaran yang bersifat dinamik, yaitu mempunyai besar serta arah. Terlihat bahwa energi yang merupakan besaran statik terkait dengan besarnya dinamika. Perubahan besaran statik (perubahan energi) menghasilkan perubahan terhadap besaran dinamik. Usaha menyebabkan energi benda berkurang. Usaha yang dilakukan oleh objek sama dengan perbedaan antara energi awal dan energi akhir yang dimiliki objek tersebut. Usaha yang dilakukan oleh



suatu gaya pada suatu benda setara dengan perubahan energi kinetik benda tersebut (Abdullah, 2001).

### **1.6 Arus dan Tahanan**

Kedua muatan listrik berinteraksi dengan gaya yang disebut gaya listrik atau gaya Coulomb. Besar gaya ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua medan listrik dan besarnya sebanding dengan hasil perkalian kedua muatan. Pada umumnya gaya Coulomb memainkan peran yang tidak disadari, seperti pada kancing velcro dan mesin fotokopi. Sebuah sistem yang terdiri dari bagian (partikel maupun kelompok) yang berinteraksi melalui gaya elektrostatik dapat memiliki energi potensial yang dikenal dengan istilah energi potensial listrik (Viridi, 2016).

Listrik telah ada sejak awal alam semesta ini, bahkan pada saat kehidupan di planet ini belum ada. Kilat petir yang sangat kuat dapat menunjukkan langit yang cerah. Petir adalah fenomena alam yang menggambarkan adanya energi listrik. Gejala kelistrikan telah diselidiki sejak 600 SM oleh Thales, seorang filsuf Miletus, Yunani kuno. Batu amber digosok dengan sutra yang bisa menarik potongan jerami, jadi disebutkan bahwa batu ambar memiliki muatan listrik. Seiring berkembangnya kehidupan, listrik merupakan bagian yang sangat penting di kehidupan manusia. Hampir semua peralatan yang digunakan manusia menggunakan bantuan energi listrik. Listrik pada dasarnya dibedakan menjadi dua jenis antara lain listrik statis (hal yang terkait muatan listrik pada keadaan diam) serta listrik dinamis (hal yang terkait dengan muatan listrik pada keadaan bergerak). Pada saat sakelar pada suatu rangkaian listrik ditutup, lampu akan menyala, begitu pula sebaliknya saat sakelar dibuka lampu mati. Definisi arus listrik yaitu sebagai aliran muatan listrik melalui sebuah konduktor. Arus tersebut bergerak dari potensial tinggi menuju potensial rendah, dari kutub positif menuju kutub negatif, dari anoda menuju katoda (Sumarsono, 2008).

### 1.7 Medan Magnet

Medan magnet disebabkan adanya muatan magnet. Ketika sebuah partikel bermuatan bergerak dalam medan magnetik, maka partikel tersebut mengalami gaya magnetik dengan arah yang tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh vektor kecepatan partikel serta vektor medan magnetik (Viridi, 2016).

Medan magnetik muncul akibat adanya arus listrik. Perhitungan medan magnetik dapat dilakukan dengan menghitung elemen medan magnetik yang ditimbulkan oleh elemen arus menggunakan hukum Biot-Savart. Jika telah diperoleh medan magnetik bersifat konstan dengan arahnya tertentu, perhitungan medan magnetik juga dapat dilakukan dengan menggunakan hukum Ampere, yang sebenarnya tidak dimaksudkan untuk menghitung medan magnetik. (Viridi, 2016)

### 1.8 Fluida

Zat di alam diklasifikasikan dalam tiga wujud utama, yaitu zat padat, zat cair, serta gas. Zat cair dan gas mempunyai satu kesamaan yaitu tidak memiliki bentuk tetap. Bentuk zat cair dan gas mengikuti bentuk wadah. Zat cair serta gas mudah ditembus atau terpecah, karena gaya tarik antar atom maupun molekul penyusun zat cair serta gas jauh lebih lemah dibandingkan gaya tarik antar-atom penyusun zat padat. Salah satu sifat yang sering terlihat yaitu zat cair serta gas bisa mengalir. Zat dengan sifat bisa mengalir disebut fluida. Ada 2 jenis sifat fluida yaitu sifat fluida diam (fluida statis) dan sifat fluida mengalir (fluida dinamis). Sifat tersebut sangat penting dipelajari karena memiliki banyak aplikasi dalam keseharian (teknologi sederhana atau teknologi canggih). Contoh penerapan sifat fluida dapat ditunjukkan dalam pembuatan kapal antara lain kapal tanker raksasa, kapal selam, balon udara, pesawat terbang, helikopter, pesawat ulang-alik, dan lain-lain. Hubungan antara fluida statis dan benda yaitu fluida selalu melakukan gaya dorong terhadap benda. Salah satu sifat menarik yaitu arah gaya dorong dari fluida selalu tegak lurus bidang sentuh pada benda (Abdullah, 2001).

### 1.9 Suhu dan Kalor

Suhu merupakan parameter derajat panas dinginnya sebuah benda. Berbagai penerapan suhu dalam keseharian antara lain: prinsip suhu yang diterapkan dalam sistem lemari es, suhu dibuat rendah nilainya supaya bakteri tidak dapat tumbuh di makanan, sehingga makanan yang disimpan lebih tahan lama; di dalam mobil, sopir maupun penumpang sering menghidupkan AC saat suhu udara cukup tinggi. Hal ini dilakukan agar suhu udara di dalam mobil menjadi rendah serta penumpang merasa nyaman. Hal tersebut berlaku sebaliknya; penggunaan termos juga menerapkan prinsip suhu. Dinding termos menghambat aliran keluar panas dari air maupun minuman dari dalam menuju udara luar, sehingga air dalam termos bisa tetap hangat dalam rentang waktu tertentu. Suhu merupakan besaran fisika yang hanya bisa dirasakan. Tubuh mampu merasakan suhu dalam bentuk rasa panas serta dingin. Saat menyentuh es, otak memberikan informasi rasa dingin. Saat berada di terik matahari, otak memberikan informasi rasa panas (Abdullah, 2016).

Suhu mampu mengubah sifat zat, dengan prinsip sebagian besar zat akan memuai saat dipanaskan. Salah satu penerapan tersebut yaitu sebatang besi lebih panjang ketika dipanaskan dibandingkan dalam keadaan dingin. Hal ini yang menjadikan alasan mengapa rel kereta api selalu dibuat longgar atau diberi jarak antara sambungan rel satu dengan yang lainnya. Saat besi dalam rel tersebut memuai maka tidak sampai bengkok yang kemungkinan akan menyebabkan terjadinya kecelakaan kereta api.

Alat yang digunakan mengukur suhu sebuah zat dinamakan termometer. Terdapat beberapa jenis termometer dengan prinsip kerja bergantung terhadap beberapa sifat materi yang berubah terhadap suhu. Sebagian besar termometer umumnya bergantung pada pemuaian materi terhadap naiknya suhu (Sumarsono, 2008).

Beberapa pendapat menyatakan satuan energi kalor yaitu kalori (kal). Bahasa Inggrisnya adalah *calorie* yang disingkat *cal*. Kesepakatan untuk satu kalori yaitu 1 kalori = energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram air murni sebesar 1°C. Penerapan kalor

dalam keseharian yaitu: cairan radiator, penyulingan air, pembuatan garam. Sedangkan pemanfaatan sifat perpindahan kalor yaitu: setrika, termos, sandal, jaket, pegangan alat masak (Abdullah, 2016).

Jika terdapat perbedaan suhu antara dua sistem, maka akan terjadi perpindahan kalor. Kalor mengalir dari sistem bersuhu tinggi menuju sistem yang bersuhu lebih rendah. Kalor merupakan salah satu wujud energi, maka bisa berpindah dari satu sistem menuju sistem lain disebabkan adanya perbedaan suhu. Sebaliknya, jika terdapat perbedaan suhu antara dua sistem maka akan terjadi perpindahan kalor. Kalor yang diberikan terhadap zat bisa mengubah wujud zat tersebut. Kalor mengalir dengan sendirinya dari suatu benda yang suhunya lebih tinggi menuju benda lain yang memiliki suhu yang lebih rendah. Kalor berpindah dari satu tempat (benda) menuju tempat (benda) lainnya melalui tiga cara antara lain konduksi (hantaran), konveksi (aliran), serta radiasi (pancaran) (Sumarsono, 2008).

### **1.10 Teori Relativitas**

Fisika modern ditandai dengan munculnya teori kuantum serta teori relativitas khusus saat awal abad 20. Dalam fisika modern, cara untuk mendeskripsikan fenomena alam berbeda dengan fisika klasik, terutama saat mendeskripsikan fenomena yang melibatkan partikel subatomic dan partikel yang bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Terutama mendeskripsikan peristiwa yang melibatkan gerakan mendekati kecepatan cahaya, hukum mekanika Newton dinyatakan gagal, sehingga diperlukan metode baru saat mendeskripsikan fenomena tersebut, hal tersebut yang dilakukan Einstein dengan teori relativitas khusus (Abdullah, 2001).

### **1.11 Kesimpulan**

Fisika merupakan salah satu ilmu dasar yang mempelajari benda mati (tidak hidup) serta fenomena alam yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Fisika termasuk rumpun Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Prinsip, teori, maupun hukum fisika banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari manusia dalam memenuhi kebutuhannya.

Prinsip, teori, serta hukum fisika yang digunakan dalam keseharian disebut dengan istilah fisika terapan. Beberapa hal spesifik yang dapat dipelajari dalam fisika terapan antara lain: analisis dan vektor; dinamika; hidrostatika; usaha dan energi; arus dan tahanan; medan magnet; bunyi dan cahaya; fluida; suhu dan kalor; teori relativitas. Prinsip, teori, serta hukum dalam fisika dapat diterapkan dalam berbagai bidang ilmu yaitu kedokteran, kemaritiman, pendidikan, komputerisasi, teknologi, permesinan dan lain sebagainya.

### Daftar Pustaka

- Abdullah, M. (2001). *FI-1101 FISIKA DASAR I* (p. 200). Intitut Teknologi Bandung.
- Abdullah, M. (2016). *Fisika Dasar 1* (p. 1068). Institut Teknologi Bandung.
- Anaperta, M. (2015). Pendekatan Science Environment Technology and Social. *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*, 1(2), 99–106.
- Halliday, Resnick, J. W. (2011). *Fundamentals of Physics-Halliday & Resnick* (9th ed., Vol. 53, p. 160). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ohanian, H. and M. J. (2007). *For engineers and scientists* (Third). Northon Company.
- Pratama, N. S., & Istiyono, E. (2015). Studi Pelaksanaan Pembelajaran Fisika Berbasis Higher Order Thinking (Hots) Pada Kelas X Di Sma Negeri Kota Yogyakarta. *PROSIDING : Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 6(2), 104–112. <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/prosfis1/article/view/7711/5687>
- Pritchard, J. P. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics* (eight edit). John Wiley & Sons, Inc.
- Saregar, A. (2016). Pembelajaran Pengantar Fisika Kuantum dengan Memanfaatkan Media Phet Simulation dan LKM Melalui Pendekatan Saintifik: Dampak pada Minat dan Penguasaan Konsep Mahasiswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 5(1), 53. <https://doi.org/10.24042/jpifalbiruni.v5i1.105>
- Sumarsono, J. (2008). *Fisika untuk SMA/MA Kelas X* (D. Nuraini (ed.)). Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.

- Viridi, S. (2016). *Fisika Dasar* (Issue May). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2536.2801>
- Wulandari, N., Sudarti, & Harijanto, A. (2017). Pengembangan Bahan Ajar Interaktif Fisika Berwawasan SETS untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika*, 2 (2527–5917), 1–6. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/fkip-epro/article/view/6242/4949>

## BAB 2

# ANALISIS VEKTOR

**Arief Muliawan**

Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang  
ariefstitek@gmail.com

### 2.1 Pendahuluan

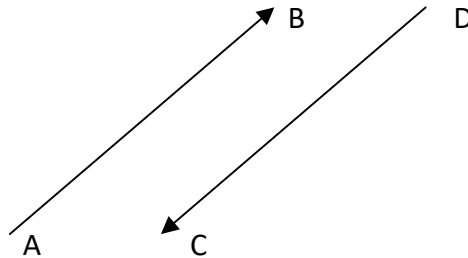
Sebuah partikel bergerak sepanjang lintasan garis lurus yang bergerak dalam dua arah. Dalam pergerakannya dapat bergerak ke arah positif dan bergerak ke arah negatif. Untuk partikel yang bergerak dalam tiga dimensi, tanda plus (+) atau minus (-) tidak lagi cukup untuk menunjukkan arah sehingga kita dapat menggunakan vektor. Vektor memiliki besaran serta arah sedangkan skalar hanya memiliki besaran. Vektor mengikuti aturan kombinasi tertentu yang akan dibahas dalam bab ini.

Menurut Anton & Rorres (2004), vektor adalah suatu besaran yang memiliki arah (*direction*) dan nilai/panjang. Banyak besaran yang dapat ditemui dalam ilmu pengetahuan misalnya panjang, massa, volume yang dapat dinyatakan oleh suatu nilai. Besaran demikian dinamakan serta dikenal sebagai besaran skalar. Ada besaran lain misalnya kecepatan, gaya, usaha, momen, yang besaran-besaran tersebut memiliki arah dan nilai yang dinamakan serta dikenal sebagai besaran vektor. Vektor dapat digambarkan sebagai anak panah (ruas garis yang berarah). Panjang panah adalah besar vektor dan arah panah adalah arah vektor.

Kuantitas vektor merupakan kuantitas yang memiliki besaran dan arah dan karenanya dapat dipresentasikan dengan vektor. Beberapa besaran fisik yang merupakan besaran vektor misalnya perpindahan, kecepatan dan percepatan. Dalam materi ini kombinasi vektor akan disajikan lebih banyak lagi. Tidak semua kuantitas fisik melibatkan arah. Temperatur, tekanan, energi, waktu, dan massa merupakan

besaran yang tidak memiliki arah. Besaran ini disebut sebagai besaran skalar yang operasional skalar dengan aturan aljabar biasa. Penggunaan analisis vektor bukan hanya sebatas pengukuran sifat fisis melainkan dapat juga dipergunakan dalam masalah sosial seperti analisis tingkat kepuasan terhadap kualitas pelayanan akademik mahasiswa (Dewi, 2013).

Kuantitas vektor yang paling sederhana yakni perpindahan atau perubahan posisi. Vektor yang mewakili perpindahan disebut vektor perpindahan, demikian pula untuk vektor kecepatan dan vektor percepatan. Jika sebuah partikel bergerak dari A ke B seperti pada gambar 2.1, kita menyatakan bahwa perpindahan dari A ke B diwakilkan dengan menunjukkan anak panah dari A ke B. Panah menentukan vektor secara grafis.



Gambar 2.1 Vektor yang beda arah dan sama panjang

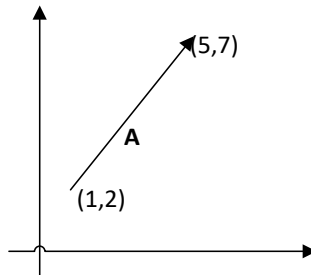
Sebagai ilustrasi suatu garis dari titik A ke B dengan titik A sebagai titik pangkal dan garis bentuknya tersebut dinyatakan sebagai  $\overrightarrow{AB}$ . Kemudian jika kita gambarkan garis yang sama panjang dan beda arah, yaitu  $\overrightarrow{DC}$ , sehingga dapat dikatakan vektor  $\overrightarrow{AB} = -\overrightarrow{DC}$ .

Dengan pemahaman akan pembelajaran materi analisis vektor dapat meningkatkan pemahaman siswa dalam menganalisis sifat besaran (Hm, 2018). Model pembelajaran kooperatif melalui *lesson study* dirasakan sangat membantu penyerapan materi analisis vektor. Sehingga materi vektor ini menjadi landasan pemahaman materi selanjutnya dalam buku fisika terapan ini.



Suatu vektor pada bidang dinyatakan dengan dua komponen yaitu komponen yang sejajar sumbu  $x$ , yang dinyatakan dengan  $i$  dan komponen yang sejajar sumbu  $y$ , yang dinyatakan dengan  $j$ . Sebagai penggambaran, perhatikan gambar berikut ini yang menggambarkan vektor  $\vec{A}$  pada bidang koordinat kartesian. Vektor  $\vec{A}$  adalah garis yang menghubungkan titik pangkal  $(1,2)$  dan titik akhir  $(5,7)$ . Sehingga vektor  $A$  dapat dinyatakan sebagai berikut:

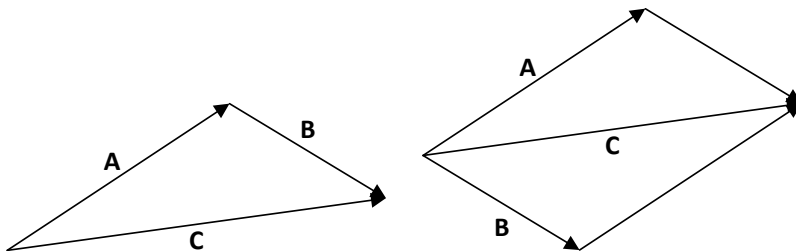
$$\begin{aligned}\vec{A} &= \langle 5,7 \rangle - \langle 1,2 \rangle \\ &= 4i + 5j\end{aligned}$$



Gambar 2.2 Vektor pada bidang koordinat kartesian

## 2.2 Sifat Vektor

Pada Gambar 2.3 diperhatikan dua buah vektor  $A$  dan  $B$  yang merupakan dua buah vektor komutatif. Kedua vektor tersebut dijumlahkan menjadi vektor  $C$  yang merupakan resultan dari kedua vektor tersebut



Gambar 2.3 Resultan vektor  $A$  dan  $B$

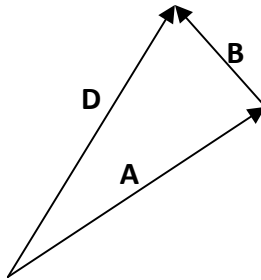
Pada penjumlahan vektor berlaku:

$$C = A + B$$

$$A + B = B + A$$

Penjumlahan vektor berlaku komutatif. Vektor A kemudian dikurangkan dengan vektor B yang secara penggambaran grafis terlihat bahwa vektor A ditambahkan dengan vektor  $(-B)$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut:

$$D = A + (-B) = A - B$$



Gambar 2.4 Vektor A dijumlahkan dengan vektor  $(-B)$

### Contoh Soal 2.1

Jika suatu vektor diberikan:

$$A = a_1 i + a_2 j$$

Sehingga nilai harga atau besarnya nilai vektor tersebut:

$$|A| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$$

Atau dapat kembali dituliskan dalam koordinat polar:

$$A = |A| \cos \theta i + |A| \sin \theta j$$

Dengan:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{a_2}{a_1} \right)$$

Sebagai penalaran permasalahan, misalkan

$$R = 5\sqrt{3}i + 5j$$

**Penyelesaian:**

$$|R| = \sqrt{(5\sqrt{3})^2 + 5^2} = 10$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{5}{5\sqrt{3}}\right) = \frac{\pi}{6}$$

Sehingga vektor R dapat dituliskan kembali dalam bentuk:

$$R = 10 \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)i + 10 \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)j$$

Hubungan antara vektor dan komponennya juga dapat dituliskan sebagai berikut:

- a. Kesamaan vektor:

$$\mathbf{A} = \mathbf{B}$$

yang berarti

$$a_x = b_x, a_y = b_y \text{ dan } a_z = b_z$$

- b. Perkalian skalar

$$s\mathbf{A} = sa_x i + sa_y j + sa_z k$$

- c. Penjumlahan vektor

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$$

yang berarti

$$\mathbf{C} = (a_x + b_x)i + (a_y + b_y)j + (a_z + b_z)k$$

- d. Hukum komutatif

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$$

- e. Hukum asosiatif

$$\mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = (\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C}$$

- f. Hukum distributif:

$$(n+s)\mathbf{A} = n\mathbf{A} + s\mathbf{A}$$

$$s(\mathbf{A} + \mathbf{B}) = s\mathbf{A} + s\mathbf{B}$$

## 2.3 Perkalian Skalar dan Vektor

Dalam materi ini akan dijelaskan secara singkat tentang perkalian vektor, yang mencakup perkalian skalar dan perkalian vektor.

### 2.3.1 Perkalian Skalar

Perkalian skalar dari dua buah vektor **A** dan **B** dinyatakan dengan  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$  (dibaca: **A** titik **B**) yang menghasilkan besaran skalar S. Untuk lebih jelasnya didefinisikan perkalian titik pada bidang sebagai berikut:

#### 1. Secara Geometri

Perkalian vektor  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$  didefinisikan sebagai perkalian antara besarnya vektor-vektor **A** dan **B** serta sudut yang membentuk antara keduanya sehingga

$$S = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}||\mathbf{B}|\cos(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = AB \cos \theta, \text{ untuk } 0 < \theta < \pi$$

Jika perkalian skalar (titik) sama dengan nol, yaitu  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = 0$ , jika salah satu dari tiga syarat terpenuhi:  $A = 0$ ,  $B = 0$  atau **A** tegak lurus pada **B** (yaitu  $\theta = 90^\circ$ ). Jika **A** tegak lurus pada **B**, vektor **A** dikatakan ortogonal terhadap vektor **B**.

Perkalian skalar bersifat komutatif, sehingga dapat dituliskan

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$$

Sehingga urutan dalam perkalian skalar untuk vektor tidak penting. Jika dua vektor sama yaitu  $\mathbf{A} = \mathbf{B}$ , maka  $\cos \theta = \cos 0 = 1$ , sehingga dapat dituliskan,

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A} = |\mathbf{A}|^2 = A^2$$

#### 2. Secara Analitik

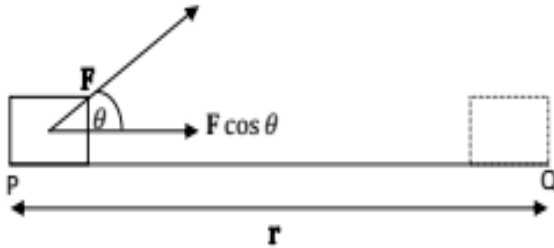
Misalkan vektor **A** dan vektor **B** berada pada sistem koordinat x, y, dan z dimana  $\mathbf{A} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$  dan  $\mathbf{B} = b_x\mathbf{i} + b_y\mathbf{j} + b_z\mathbf{k}$ , maka  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$  didefinisikan:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

Hasil ini menunjukkan bahwa perkalian skalar (titik) antara dua vektor menghasilkan nilai skalar.

### Contoh Soal 2.2

Pada gambar 2.5, tentukan usaha yang dilakukan oleh seorang anak dengan gaya  $F=2i+3j+4k$  untuk memindahkan benda dari titik  $p(-1,2,3)$  ke  $q(5,6,7)$ .



Gambar 2.5 Perpindahan benda akibat gaya

### Penyelesaian:

Dari gambar 2.5 diperoleh bentuk umum usaha

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r}$$

Maka,

$$\mathbf{r} = q(5,6,7) - p(-1,2,3) = (6,4,4) = 6i + 4j + 4k$$

Sehingga

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} = (2i + 3j + 4k) \cdot (6i + 4j + 4k)$$

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} = 12 + 12 + 16 = 40 \text{ joule}$$

### 2.3.2 Perkalian Vektor

Perkalian antara dua vektor tidak seperti perkalian antara dua bilangan real. Perkalian antara dua bilangan real hasil kalinya adalah sebuah bilangan real. Namun, hasil kali dua vektor belum tentu demikian. Ada beberapa jenis perkalian vektor dengan notasi dan hasil yang berbeda. Ada perkalian yang menghasilkan skalar yang disebut hasil kali titik (**dot product**) dan ada perkalian yang menghasilkan vektor yang disebut hasil kali silang (**cross product**).

Perkalian vektor atau perkalian silang dua vektor **A** dan **B** didefinisikan sebagai vektor **C**. Besar vektor **C** ini sama dengan besar

vektor **A** dikalikan vektor **B**, kemudian dikalikan dengan sudut yang membentuk antara vektor **A** dan vektor **B**, sedangkan arah untuk vektor **C** tegak lurus pada vektor **A** dan vektor **B**, atau tegak lurus pada bidang yang mengandung vektor **A** dan vektor **B**. Perkalian vektor ini dituliskan sebagai

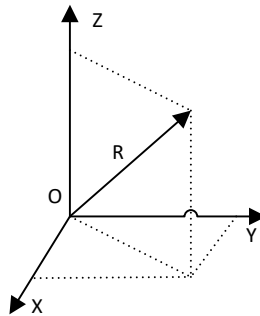
$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

### 1. Secara Geometri

Perkalian silang dari dua vektor **A** dan **B** adalah sebuah vektor  $\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$  (dibaca **A** silang **B**), yang besarnya adalah hasil kali antara besarnya **A** dan **B** dan sinus sudut antara keduanya. Besar vektor **C** adalah

$$|\mathbf{C}| = |\mathbf{A}| |\mathbf{B}| \sin(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = AB \sin \theta \text{ untuk } 0 < \theta < \pi$$

Oleh karena itu, **C** akan menjadi nol jika  $A=0$ ,  $B=0$  atau sudut  $\theta=0$ . Arah **C** mengikuti aturan sekerup putar kanan; dalam hal ini, jika diputar dari vektor **A** ke arah vektor **B** melalui sudut terkecil, maka arah vektor **C** searah maju atau mundurnya sekerup putar kanan: jika putaran itu searah jarum jam, maka arah **C** akan maju, jika berlawanan arah putaran jam arah vektor **C** akan mundur.



Gambar 2.6 Koordinat tiga dimensi

### 2. Secara Analisis

Misalkan vektor **A** dan vektor **B** berada pada sistem koordinat  $x, y$  dan  $z$  dimana  $\mathbf{A} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k}$  dan  $\mathbf{B} = b_x \mathbf{i} + b_y \mathbf{j} + b_z \mathbf{k}$ , maka  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  didefinisikan:

$$A \times B = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y & a_z \\ b_y & b_z \end{vmatrix} i - \begin{vmatrix} a_x & a_z \\ b_x & b_z \end{vmatrix} j + \begin{vmatrix} a_x & a_y \\ b_x & b_y \end{vmatrix} k$$

Dengan menggunakan ketentuan vektor, maka diperoleh

$$\begin{aligned} i \times i &= 0, & j \times j &= 0, & k \times k &= 0 \\ i \times j &= k, & j \times i &= -i, & k \times i &= j \\ j \times i &= -k, & i \times j &= -i, & i \times k &= -j \end{aligned}$$

Hasil perkalian silang dari vektor-vektor satuan pada bidang dengan menggunakan sifat-sifat perkalian silang:

Misalkan **A**, **B**, dan **C** adalah vektor-vektor dan  $m$  adalah bilangan real, maka berlaku hukum:

- a. Perkalian vektor bersifat tidak komutatif atau antikomutatif, yang dapat dituliskan sebagai,

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$$

- b. Perkalian vektor dari suatu vektor terhadap dirinya sendiri adalah nol dan dituliskan sebagai,

$$\mathbf{A} \times \mathbf{A} = \mathbf{0}$$

Suku ruas kanan persamaan ini adalah vektor null, yang mengikuti aturan

$$\mathbf{A} + \mathbf{0} = \mathbf{A}, \quad \mathbf{A} \times \mathbf{0} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{A} \cdot \mathbf{0} = 0$$

- c. Perkalian vektor mengikuti hukum distributif, yang dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\mathbf{A} \times (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{A} \times \mathbf{B} + \mathbf{A} \times \mathbf{C}$$

- d. Perkalian vektor dikalikan dengan  $m$  skalar

$$m(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}) = m\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot m\mathbf{B}$$

- e. Ketidaksamaan Schwarz

$$|\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}| \leq |\mathbf{A}||\mathbf{B}|$$

### Contoh Soal 2.3

Jika  $\mathbf{A} = 2i - 2j + k$  dan  $\mathbf{B} = 3i + j + 2k$ . Tentukan  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  dan sudut yang dibentuk oleh  $\mathbf{A}$  dan  $\mathbf{B}$ .

### Penyelesaian

$$\begin{aligned} \text{a. } \mathbf{A} \times \mathbf{B} &= \begin{vmatrix} i & j & k \\ 2 & -2 & 1 \\ 3 & 1 & 2 \end{vmatrix} = |-1 - 1|i - |3 - 4|j + |2 + 6|k \\ &= -5i - j + 8k \end{aligned}$$

$$\text{b. } \mathbf{A} \times \mathbf{B} = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \sin \theta u, \text{ maka } \sin \theta = \frac{|\mathbf{A} \times \mathbf{B}|}{|\mathbf{A}||\mathbf{B}|}$$

$$\sin \theta = \frac{|\mathbf{A} \times \mathbf{B}|}{|\mathbf{A}||\mathbf{B}|} = \frac{\sqrt{(-5)^2 + (-1)^2 + 8^2}}{\sqrt{2^2 + (-2)^2 + 1^2} + \sqrt{3^2 + 1^2 + 2^2}} = \frac{\sqrt{90}}{3\sqrt{14}}$$

$$\theta = \arcsin \frac{\sqrt{90}}{3\sqrt{14}} = 57,69^\circ$$

Jadi sudut yang dibentuk antara  $\mathbf{A}$  dan  $\mathbf{B}$  adalah  $57,69^\circ$ .

Dari interpretasi hasil kali titik secara geometri dapat dikembangkan melalui kesebangunan segitiga dan untuk memudahkan siswa dalam mengingat formula cosinus sudut jumlah dan selisih dapat dibuktikan melalui hasil kali titik yaitu dengan melukiskan dua buah vektor pada lingkaran unit, serta hasil kali titik dan silang dapat dikaitkan dengan determinan (Suwandi, 2015). Analisis vektor pada materi statistik juga dapat mereduksi data atau meringkas dari variabel yang banyak diubah menjadi sedikit variabel baru serta masih memuat sebagian besar informasi yang terkandung dari variabel asli (Supranto, 2004).

## 2.4 Operator Differensial Vektor

Dalam differensial vektor ditunjukkan dengan **grad** atau (del). Dalam koordinat Cartesian operator vektor ini digambarkan dengan

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}i + \frac{\partial}{\partial y}j + \frac{\partial}{\partial z}k$$



Jika operator ini dioperasikan dengan fungsi skalar, maka operator del ini membentuk arah atau vektor. Jika operator ini dioperasikan pada perkalian fungsi operator del harus diperlakukan sebagai operator diferensial. Terdapat tiga operasi yang berbeda dengan operator ini yaitu:

- Operator del yang dioperasikan pada fungsi skalar  $u$  akan membentuk grad  $u$  atau  $\nabla u$ .
- Bilamana operator del melakukan perkalian skalar dengan fungsi vektor lain  $\mathbf{A}$  dengan membentuk  $\nabla \cdot \mathbf{A}$  atau **div**  $\mathbf{A}$ , hasilnya disebut divergence  $\mathbf{A}$ , yaitu besaran skalar.
- Bilamana operator del melakukan perkalian vektor dengan fungsi vektor lain  $\mathbf{A}$  dengan membentuk  $\nabla \times \mathbf{A}$  atau **curl**  $\mathbf{A}$ , hasilnya disebut curl  $\mathbf{A}$  atau rot (berarti rotasi)  $\mathbf{A}$ , yang merupakan besaran vektor.

Kita perhatikan fungsi skalar  $u$  yang merupakan fungsi eksplisit dari koordinat  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , yaitu  $u = u(x, y, z)$ , dan fungsi ini adalah kontinu serta bernilai tunggal. Fungsi skalar ini mempunyai tiga komponen, yang bisa dipandang menjadi komponen-komponen dari suatu vektor yang disebut *grad*  $u$  atau  $\nabla u$  (*del*  $u$ ). Dengan demikian, meskipun  $u$  adalah skalar, *grad*  $u$  adalah vektor dengan tiga komponen yang diberikan oleh,

$$\text{grad } u = \nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j + \frac{\partial u}{\partial z} k$$

Sifat-sifat grad  $u$  dapat dirangkum atau disimpulkan sebagai berikut:

- Grad  $u$  pada suatu titik tegak lurus pada garis (dalam dua dimensi) atau permukaan (dalam tiga dimensi) yang merupakan tempat  $u$  konstan.
- Grad  $u$  mempunyai arah di mana  $u$  berubah paling cepat, dan besarnya merupakan derivatif berarah dari  $u$ , yaitu laju kenaikan  $u$  per satuan jarak dalam arah itu.

Mengingat bahwa  $u = u(x, y, z)$  adalah fungsi skalar, maka fungsi itu menggambarkan medan skalar. Contohnya adalah perubahan

temperatur dan tekanan dalam volume tertentu dari zat. Daerah ruang ini bisa didefinisikan dengan gradien temperatur  $\nabla T(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$  atau gradien tekanan  $\nabla P = (\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$ .

Seperti dinyatakan sebelumnya, bilamana operator del melakukan perkalian skalar dengan suatu fungsi titik vektor  $A$ , operator itu menghasilkan divergence  $A$ . Dalam koordinat Cartesian, divergence  $A$  dapat dituliskan sebagai,

$$\begin{aligned}\operatorname{div} A &= \nabla \cdot A = \left( \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k \right) \cdot (a_x i + a_y j + a_z k) \\ &= \left( \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z} \right)\end{aligned}$$

Contoh fungsi titik vektor antara lain medan vektor listrik  $E(x, y, z)$  dan vektor kecepatan  $v(x, y, z)$ . Divergence fungsi vektor semacam itu menggambarkan medan vektornya.

Teorema Gauss atau teorema divergence menyatakan bahwa divergence suatu medan vektor dikalikan dengan volume sama dengan aliran netto medan vektor itu melewati permukaan yang membatasi volume tersebut. Persamaan matematis teorema ini adalah:

$$\iiint_V \nabla \cdot A dV = \iint_S \hat{n} \cdot A dS$$

dengan  $\hat{n}$  adalah vektor satuan yang tegak lurus pada permukaan dan menunjuk ke arah luar.

Sekarang mengambil perkalian silang operator del dengan suatu vektor, menghasilkan vektor yang disebut **curl A** atau **rot A** (berarti rotasi medan vektor).

$$\nabla \times A = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ a_x & a_y & a_z \end{vmatrix}$$

Makna geometris **curl A** bisa juga ditentukan dengan teorema Stokes, yang dapat dituliskan sebagai,

$$\iint \hat{n} \cdot (\nabla \times A) ds = \int_c A \cdot dr$$

Teorema Stokes menyatakan bahwa integral garis medan vektor sepanjang suatu lintasan tertutup sama dengan integral permukaan pada suatu luasan yang dibatasi oleh lintasan itu.

### Contoh Soal 2.4

Hitunglah :

- $\nabla f$  untuk fungsi  $f = xy^2 + yx^2 + xyz$
- $\text{div } r$  untuk medan vektor  $r = 4xi + 2j + 4yk$
- $\text{curl } r$  untuk medan vektor  $r = yi + xj + zk$

### Penyelesaian

- $$\begin{aligned} \text{Grad } f = \nabla f &= \frac{\partial f}{\partial x} i + \frac{\partial f}{\partial y} j + \frac{\partial f}{\partial z} k \\ &= (y^2 + 2yx + yz)i + (2xy + x^2 + xz)j + (0 + 0 + xy)k \end{aligned}$$
- $$\text{div } r = \nabla \cdot r = \frac{\partial(4x)}{\partial x} + \frac{\partial(2)}{\partial y} + \frac{\partial(4y)}{\partial z} = 4 + 0 + 0 = 4$$
- $$\text{Curl } r =$$

### Contoh Soal 2.5

Jika  $F(x,y,z) = xzi + xyzj - y^2k$  tentukan  $\nabla \cdot F$  dan  $\nabla \times F$

### Penyelesaian

- $$\begin{aligned} \text{div } F = \nabla \cdot F &= \frac{\partial}{\partial x}(xz) + \frac{\partial}{\partial y}(xyz) + \frac{\partial}{\partial z}(-y^2) \\ &= \nabla \cdot F = z + xz \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Curl } F = \nabla \times F &= \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ xz & xyz & -y^2 \end{vmatrix} \\ &= (-2y - xy)i - (0 - x)j + (yz - 0)k \\ &= -y(2 + x)i + xj + yz k \end{aligned}$$

## 2.5 Kesimpulan

Vektor ialah besaran yang mempunyai nilai dan arah seperti kecepatan, percepatan, gaya. Sedangkan skalar ialah besaran yang mempunyai nilai seperti suhu, massa, tekanan.

## Daftar Pustaka

- Anton, H., & Rorres, C. (2004). *Aljabar Linear Elementer Versi Aplikasi*. (R. Indriasari & I. Harmaen, Eds.) (Delapan). Jakarta: Erlangga.
- Dewi, N. R. (2013). Analisis Tingkat Kepuasan Mahasiswa Terhadap Kualitas Pelayanan Akademik Menggunakan Analisis Faktor. In *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung* (Vol. 1, pp. 405–411). Lampung: Universitas Lampung.
- Hm, A. H. K. (2018). Implementasi Lesson Study Pada Mata Kuliah Analisis Vektor. *Pedagogy: Jurnal Pendidikan Matematika*, 3(2), 102–112.
- Supranto, J. (2004). *Analisis Multivariat Arti dan Interpretasi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suwandi, S. (2015). Pengajaran Hasil Kali Titik Dan Hasil Kali Silang Pada Vektor Serta Beberapa Pengembangannya. *Edu Research*, 4(1), 1–8.

## **BAB 3**

# **DINAMIKA**

**Ratnadewi**

Universitas Kristen Maranatha  
ratnadewi@maranatha.ac.id

### **3.1 Pendahuluan**

Dinamika merupakan salah satu cabang dari ilmu fisika yang mempelajari gerak suatu benda atau objek, serta mempelajari pengaruh gaya dan torsi yang menyebabkan gerak tersebut. Sedangkan pada kinematika dipelajari gerakan suatu benda tanpa memperhatikan penyebabnya. Sehingga kinematika adalah kebalikan dari dinamika (Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa, 2019).

Dinamika merupakan cabang mekanika yang mempelajari kekuatan atau tenaga yang mengubah atau menghasilkan gerakan tubuh (Collins, 2020). Pada bab ini akan dipelajari beberapa terapan dinamika pada kehidupan sehari-hari.

### **3.2 Bagaimana Tubuh Bergerak?**

Manusia dan hewan adalah makhluk yang diciptakan Allah dengan kemampuan tubuh yang ajaib. Ketika pertama dilahirkan, tubuh manusia atau hewan mempunyai kemampuan gerak yang terbatas. Seiring dengan waktu, maka otak manusia secara sadar maupun tidak sadar mulai mengkoordinasikan tubuh agar dapat bergerak. Tahukah Anda bagaimana tubuh manusia dan hewan dapat bergerak?

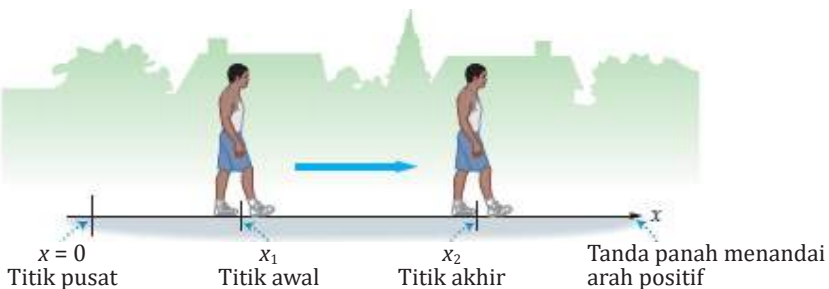
Tubuh manusia dan hewan mulai dari ujung kepala sampai ujung kaki setiap hari selalu bergerak. Setiap bagian tubuh bergerak dengan cara yang berbeda. Contohnya ketika duduk dan berdiri, maka bagian tubuh yang bergerak berbeda. Ketika membalikkan tubuh dan membungkukkan tubuh, maka bagian tubuh yang bergerak juga berbeda. Apa yang menyebabkan tubuh dapat bergerak? Bagaimana

kaki tahu ke mana harus melangkah ketika melewati suatu selokan? Bagaimana seorang menggerakkan tangan ketika memasak, misalnya mengaduk, membolak-balik makanan yang sedang dimasak?

Jawaban untuk semua pertanyaan ini dapat ditemukan dalam studi tentang gerakan manusia. Menggerakkan lengan atau kaki mungkin tampak sebagai tugas yang sederhana. Namun, gerakan manusia sebenarnya sangat kompleks. Gerakan adalah perubahan tempat, posisi, atau postur tubuh dalam kaitannya dengan lingkungan. Pergerakan terjadi hanya ketika sistem tubuh, seperti kerangka sistem, sistem kardiovaskular, sistem neuromuskular, dan sistem energi tubuh, bekerja bersama. Untuk bergerak dengan sukses, sistem ini berinteraksi dan beradaptasi ke lingkungan yang terus berubah.

### 3.3 Posisi, Jarak, dan Perpindahan

Tahap pertama untuk menjelaskan gerakan suatu benda adalah menentukan sistem koordinat posisinya. Pada sistem koordinat satu dimensi seperti pada Gambar 3.1. Pada sumbu  $x$  titik asal  $x_1$  dan titik akhir  $x_2$ , jika arah menuju sumbu positif dengan  $x_2 > x_1$ , maka selisih  $x_2$  dan  $x_1$  akan positif. Sebaliknya jika  $x_2 < x_1$ , maka selisih  $x_2$  dan  $x_1$  akan negatif.



Gambar 3.1 Sistem koordinat satu dimensi (James S. Walker)

Jarak adalah total panjang perjalanan yang ditempuh. Contoh misalnya, jarak dari rumah ke sekolah 50 m dan jarak dari sekolah ke toko roti 20 m. Jika seseorang bergerak dari rumah ke sekolah kemudian ke toko roti dan kembali ke sekolah dan ke rumah, makan

jarak yang ditempuh adalah  $50 \text{ m} + 20 \text{ m} + 20 \text{ m} + 50 \text{ m}$  adalah  $140 \text{ m}$ . Satuan internasional (SI) untuk jarak adalah meter (m).

Ketika seseorang berkendara, maka odometer akan menunjukkan berapa jauh kendaraan telah bergerak tanpa melihat arahnya. Pada Gambar 3.1 jika  $x_1 = 2 \text{ m}$  dan  $x_2 = 6 \text{ m}$ , maka orang tersebut telah bergerak dengan jarak  $x_2 - x_1 = 6 \text{ m} - 2 \text{ m} = 4 \text{ m}$ . Perpindahan adalah perubahan posisi yaitu selisih posisi akhir dan posisi awal.

$$\text{Perpindahan} = \Delta x = x_2 - x_1 \quad (3.1)$$

SI adalah meter (m).

### 3.4 Kecepatan dan Kecepatan Rata-Rata

Parameter lain dalam gerak adalah kecepatan yaitu seberapa cepat suatu benda bergerak. Misalnya seberapa cepat tangan mengambil barang? Seberapa jauh mobil bergerak dalam satu jam? Seberapa cepat kelopak mata bergerak ketika berkedip? Di sini akan dijawab dengan kecepatan rata-rata sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan rata - rata} = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu tempuh}} \quad (3.2)$$

Dimensi kecepatan rata-rata dalam SI adalah meter/detik (m/s).

#### Contoh Soal 3.1

Seseorang pergi bekerja dengan berjalan kaki dari rumah ke kantornya (Gambar 3.2). Jarak rumah dan kantor  $1000 \text{ m}$ , ia berjalan dengan kecepatan  $2 \text{ m/s}$ . Berapa lama waktu yang dibutuhkan orang tersebut untuk sampai di kantornya?



Gambar 3.2 Orang berjalan lurus (Times, 2015)

**Penyelesaian:**

Dari rumus (3.2) maka :

$$\text{Waktu tempuh} = \frac{\text{jarak}}{\text{Kecepatan rata-rata}} = \frac{1000\text{m}}{2\text{m/s}} = 500\text{s}$$

Jadi, orang tersebut akan sampai di kantor 500 detik dengan berjalan kaki.

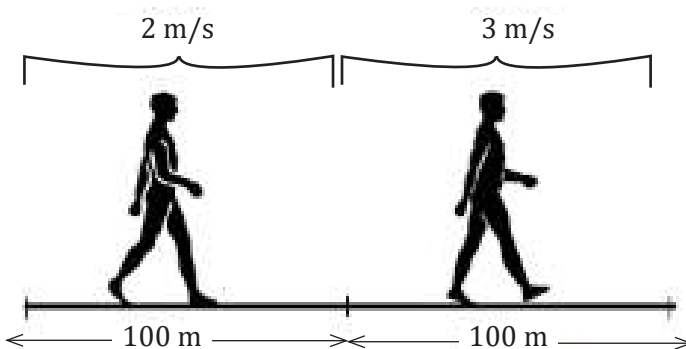
**Soal Latihan 3.2**

Jika orang tersebut pulang bekerja dengan kecepatan 1.5 m/s selama 10 menit. Sampaiakah ia di rumahnya?

**Kecepatan rata-rata** untuk perjalanan yang terdiri dari dua bagian yang sama panjangnya, masing-masing bepergian dengan kecepatan yang berbeda.

**Contoh Soal 3.3**

Seseorang berjalan pada jarak 100 m dengan kecepatan 2 m/s dan kemudian 100 m berikutnya pada 3 m/s (Gambar 3.3). Apakah kecepatan rata-rata untuk 200 m perjalanan adalah (a) lebih besar dari 2.5 m/s, (b) sama dengan 2.5 m/s, atau (c) kurang dari 2.5 m/s?.



Gambar 3.2 Kecepatan rata-rata orang berjalan (pixabay, 2014)

Sepintas terlihat bahwa kecepatan rata-rata adalah 2.5 m/s. Namun, jika ditelaah lebih lanjut, jelas bahwa dibutuhkan lebih banyak waktu untuk melakukan perjalanan 100 m pada 2 m/s daripada



melakukan perjalanan 100 m pada 3 m/s. Karenanya, Anda akan bepergian dengan kecepatan yang lebih rendah dengan periode waktu yang lebih besar, dan karenanya kecepatan rata-rata Anda akan kurang dari 2.5 m/s. Itu artinya, lebih dekat ke 2.5 m/s daripada ke 3 m/s.

Jarak total 200 m. Waktu yang diperlukan pada jarak tempuh 100 m pertama adalah

$$t_1 = \frac{100\text{m}}{2\text{m/s}} = 50\text{s}$$

Waktu yang diperlukan pada jarak tempuh 100 m kedua adalah

$$t_2 = \frac{100\text{m}}{3\text{m/s}} = 33.3\text{s}$$

Waktu total yang diperlukan seluruh perjalanan adalah

$$t_1 + t_2 = 50\text{s} + 33.3\text{s} = 83.3\text{s}$$

Kecepatan rata-rata adalah

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan rata - rata} &= \frac{\text{jarak}}{\text{waktu tempuh}} \\ &= \frac{200 \text{ m}}{83.3 \text{ s}} = 2.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 2.5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, perkiraan tidak memberi hasil yang terperinci, perlu dilakukan perhitungan bertahap.

### 3.5 Percepatan

**Percepatan** adalah perubahan kecepatan terhadap waktu. Jadi, suatu objek mengalami percepatan ketika kecepatannya berubah, tidak peduli apa pun perubahannya —ia mengalami percepatan ketika kecepatannya meningkat, dan mengalami percepatan ketika kecepatannya menurun. Galileo, sebagai contoh, menunjukkan bahwa benda jatuh bergerak dengan percepatan konstan. Karena itu, sangat penting untuk memiliki pemahaman percepatan yang jelas dan lengkap. Maka, dimulai dengan definisi percepatan rata-rata:

$$\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_i - v_o}{t_i - t_o} \quad (3.3)$$

Satuan SI adalah meter per detik per detik ( $\text{m/s}^2$ ).

Hubungan kecepatan, waktu dan percepatan dapat ditulis sebagai berikut:

$$v = v_o + at \quad (3.4)$$

Kecepatan awal, akhir, dan kecepatan rata-rata adalah:

$$v_{av} = \frac{1}{2}(v_o + v) \quad (3.5)$$

Hubungan posisi, waktu, dan kecepatan adalah:

$$x = x_0 + \frac{1}{2}(v_o + v)t \quad (3.6)$$

Hubungan posisi, waktu, kecepatan dan percepatan adalah:

$$x = x_0 + v_o t + \frac{1}{2}at^2 \quad (3.7)$$

Hubungan kecepatan, posisi, dan percepatan adalah:

$$v^2 = v_o^2 + 2a(x - x_0) = v_o^2 + 2a\Delta x \quad (3.8)$$

### Contoh Soal 3.4

Seseorang bergerak dari 0 m/s menjadi 4 m/s dalam 10 detik. Berapa percepatan rata-rata orang tersebut?

**Penyelesaian:**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4 - 0}{10} = 0.4 \text{ m/s}^2$$

Jadi percepatan rata-rata orang tersebut  $0.4 \text{ m/s}^2$ .

### Soal Latihan 3.5

Seorang laki-laki sedang bersepeda di jalan tiba-tiba melihat seorang anak kecil menangis di tengah jalan. Laki-laki yang bersepeda dengan kecepatan 12 m/s, segera lakukan rem dan perlambatan  $4 \text{ m/s}^2$ .

- a. Jika anak berjarak 20 m dari sepeda ketika rem dilakukan, seberapa dekat sepeda terhadap anak tersebut?
- b. Berapa banyak waktu yang dibutuhkan agar sepeda berhenti?

### 3.6 Benda Jatuh Bebas

Contoh gerak yang paling terkenal dengan percepatan konstan adalah jatuh bebas. Gerak benda yang jatuh bebas di bawah pengaruh gravitasi. Galileo (1564–1642) yang pertama kali menunjukkan, dengan eksperimennya sendiri, bahwa tubuh yang jatuh bergerak dengan percepatan yang konstan. Kesimpulannya didasarkan pada eksperimen yang dilakukan dengan menggulingkan bola menuruni lereng berbagai kecuraman. Dengan menggunakan tanjakan, Galileo mampu mengurangi percepatan bola, sehingga menghasilkan gerakan cukup lambat untuk diatur waktunya dengan instrumen yang agak kasar.

Galileo juga menunjukkan bahwa benda-benda dengan bobot berbeda jatuh dengan percepatan konstan yang sama, asalkan hambatan udara cukup kecil untuk diabaikan. Dalam standar demonstrasi kelas, bulu dan koin dijatuhkan dalam ruang hampa, dan keduanya jatuh bersamaan. Pada tahun 1971, versi novel percobaan ini dilakukan di bulan oleh astronot David Scott. Dalam ruang hampa yang nyaris sempurna di bulan permukaan ia menjatuhkan bulu dan palu dan menunjukkan videonya pada penonton televisi di seluruh dunia bahwa mereka jatuh ke tanah dalam waktu bersamaan.



Gambar 3.4 Buah jatuh bebas (NoName, 2012)

Akhirnya, percepatan yang dihasilkan oleh gravitasi di permukaan bumi (seringkali disebut kekuatan gravitasi) dilambangkan dengan simbol  $g$ . Sebagai lambang, kita akan sering menyebut  $g$  hanya sebagai "percepatan karena gravitasi".

Nilai  $g$  bervariasi sesuai dengan lokasi seseorang di permukaan bumi, serta ketinggian seseorang di atasnya.

Dalam semua perhitungan yang mengikuti subbab ini, digunakan  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  untuk akselerasi karena gravitasi. Perhatikan, khususnya, bahwa  $g$  selalu berarti. Contohnya, jika dipilih sistem koordinat dengan arah positif ke atas, akselerasi jatuh bebas adalah  $a = -g$ . Jika arah positif turun, maka akselerasi jatuh bebas adalah  $a = g$ .

### Contoh Soal 3.6

Seseorang meloncat dari papan luncur berjarak 5 m dan jatuh ke air di bawahnya (Gambar 3.5). (a) Berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh orang tersebut mencapai air? (b) Berapa kecepatan orang saat memasuki air?



Gambar 3.5 Orang terjun dari papan luncur (Wikipedia, 2020)

### Penyelesaian:

Mula-mula asumsikan pusat dari tinggi papan luncur, dan ambil arah positif ke bawah. Sehingga, pada papan luncur  $x_0 = 0$ ,  $a = g$ , dan air

pada  $x = 5$  m. Tentu saja,  $v_0 = 0$  ketika orang tersebut mulai meloncat dari papan luncur. Hambatan udara dapat diabaikan pada kasus ini dan model jatuh bebas. Ini berarti dapat diasumsikan percepatan konstan sama dengan  $g$  dan gunakan persamaan gerak (3.3) sampai persamaan (3.8).

- a. Ingin dicari lama waktu tempuh jika diketahui jarak dan kecepatan.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = 0 + 0 + \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{Sehingga } t = \sqrt{\frac{2x}{g}} = \sqrt{\frac{2(5 \text{ m})}{9.81 \text{ m/s}^2}} = 1.006 \text{ s}$$

- b. Ada 2 cara penyelesaian yaitu cara pertama kaitkan kecepatan terhadap waktu,

$$v = v_0 + gt = 0 + (9.81 \text{ m/s}^2)(1.006 \text{ s}) = 9.872 \text{ m/s}$$

atau cara kedua kecepatan terhadap posisi  $\Delta x = 5$  m.

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) = 0 + 2g\Delta x$$

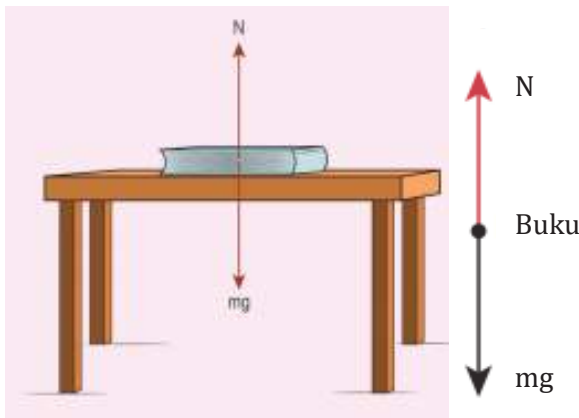
$$v = \sqrt{2g\Delta x} = \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(5 \text{ m})} = 9.90 \text{ m/s}$$

### 3.7 Gaya dan Gerakan

Saat Anda bergerak sepanjang hari, gaya bertindak pada tubuh Anda. Ketika Anda berjalan di jalan, berputar di lantai dansa, atau bahkan hanya duduk di kursi, gaya tak terlihat mempengaruhi tubuh Anda dan gerakannya. Gaya adalah dorongan atau menarik objek yang dihasilkan dari objek interaksi dengan objek lain. Saat dua benda berinteraksi, ada gaya yang bertindak pada masing-masing dari mereka. Ketika interaksi berakhir, objek tidak lagi mengalami gaya itu. Objek bergerak ketika gaya diterapkan pada mereka.

Sekarang, ketika Anda mendorong atau menarik sesuatu, ada dua kuantitas yang menjadi ciri gaya yang Anda lakukan. Yang pertama adalah besar gaya; yang kedua adalah arah di mana Anda mendorong atau menarik. Karena suatu gaya ditentukan oleh besarnya dan arah, itu adalah vektor. Ilmuwan Inggris Isaac Newton menjelaskan cara gerak itu bekerja dalam tiga hukum geraknya.

Secara umum, suatu benda memiliki beberapa gaya yang bekerja padanya pada waktu tertentu. Sebagai contoh pada Gambar 3.6, sebuah buku saat diam di atas meja mengalami gaya ke bawah karena gravitasi dan gaya ke atas karena meja. Jika Anda mendorong buku ke seberang meja, itu juga mengalami gaya horizontal karena dorongan Anda. Total gaya yang diberikan pada buku adalah jumlah vektor dari gaya yang bekerja padanya.



Gambar 3.6 Gaya pada buku di atas meja (BrainKart, 2019)

### 3.8 Hukum Newton Pada Gerak

Tiga hukum gerak Newton menentukan semua jenis gerak, termasuk gerakan tubuh Anda.

**Hukum inersia:** objek yang diam akan tetap ada saat diam dan benda bergerak akan tetap digerak linier konstan, kecuali ditindaklanjuti oleh kekuatan luar. Jika sebuah bola bergulir, itu akan tetap bergulir selamanya, kecuali ada yang menghentikannya. Cara yang sama, jika bola diam, bola akan tetap diam sampai suatu kekuatan mendorongnya untuk bergerak.

**Hukum percepatan:** percepatan sebuah objek berbanding lurus dengan gaya yang beraksi di atasnya dan berbanding terbalik dengan massa benda. Ketika gaya yang beraksi pada suatu benda meningkat, percepatan objek juga bertambah. Ketika massa suatu objek meningkat, percepatan objek berkurang untuk gaya yang tetap.

$$F = ma \quad (3.9)$$

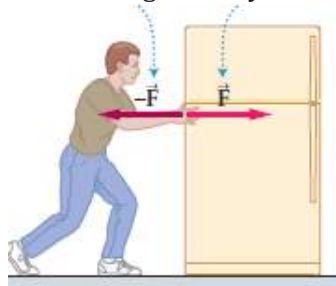
Satuan SI : Newton (N)

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

**Hukum aksi dan reaksi:** untuk setiap aksi ada reaksi yang sama dan berlawanan. Kapan satu objek memberikan gaya pada objek kedua, objek kedua bereaksi dengan memberikan gaya yang sama dalam arah yang berlawanan pada yang objek pertama. Misalnya, ketika Anda berjalan, tubuh Anda mendorong ke bawah untuk bergerak sendiri meneruskan. Tanah mendorong kembali ke arahmu dengan gaya yang sama, mendorong Anda maju.

Pergerakan tubuh manusia mengikuti gerak hukum Newton. Tubuh bergerak ketika internal dan gaya eksternal bertindak atasnya. Gaya internal dihasilkan di dalam tubuh. Ketika otot berkontraksi, itu berlaku gaya tarik internal pada tulang, yang menyebabkan gerakan. Gaya eksternal dihasilkan di luar tubuh. Misalnya, ketika Anda jatuh, gaya gravitasi menarikmu ke bawah. Pada Gambar 3.7 gaya dari orang pada benda berlawanan dengan gaya dari benda ke orang.

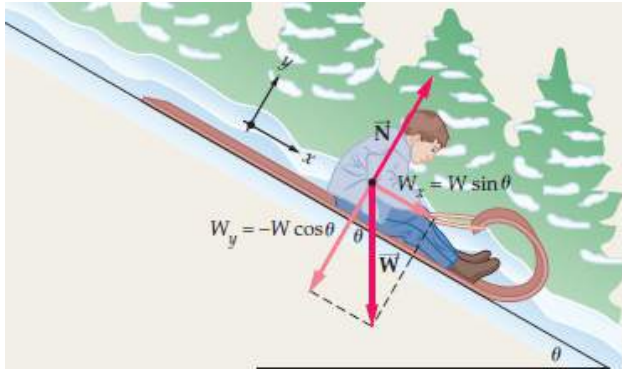
Gaya dari benda ke orang      Gaya dari orang ke benda



Gambar 3.7 Gaya orang pada benda (Walker, 2010)

### Contoh Soal 3.7

Seorang anak yang sedang mengendarai seluncur menurun di bukit yang tertutup es yang miring, dengan sudut  $\theta$  terhadap bidang horizontal (Gambar 3.8). (a) Berapa percepatan anak? (b) Berapa gaya normal yang diberikan pada anak oleh seluncur?



Gambar 3.8 Anak berseluncur (Walker, 2010)

**Penyelesaian:**

Dipilih sumbu  $x$  agar sejajar dengan kemiringan, dengan positif arah menurun. Demikian pula, dipilih sumbu  $y$  yang tegak lurus terhadap lereng, mengarah ke atas dan ke kanan. Dengan pilihan ini, komponen  $x$  dari  $W$  adalah positif,  $W_x = W \sin \theta$  dan komponen  $y$ -nya negatif,  $W_y = -W \cos \theta$ . Akhirnya, komponen  $x$  pada gaya normal adalah nol,  $N_x = 0$ , dan komponen  $y$ -nya positif  $N_y = N$ .

Perhatikan bahwa hanya dua gaya yang bekerja pada anak: (i) berat ( $W$ ) dan (ii) gaya normal ( $N$ ).

- a. Untuk menemukan percepatan anak gunakan persamaan (3.9) dengan menuliskan komponen  $x$  yang bekerja pada anak :

$$N_x = 0, W_x = W \sin \theta = mg \sin \theta$$

Kemudian jumlahkan komponen  $x$  dari gaya dan atur sama dengan  $ma_x$ :

$$\sum F_x = N_x + W_x = mg \sin \theta = ma_x$$

Maka percepatan anak adalah:

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{mg \sin \theta}{m} = g \sin \theta$$

- b. Karena tidak ada gerakan dalam arah  $y$ , komponen percepatan  $y$  adalah nol. Oleh karena itu, dapat ditemukan gaya normal dengan mengatur



$$\sum F_y = ma_y = 0$$

Komponen gaya pada arah y yang bekerja pada anak:

$$N_y = N \text{ dan } W_y = -W \cos \theta = -mg \cos \theta$$

Kemudian jumlahkan komponen gaya pada sumbu y dan atur sama dengan 0, karena:

$$\sum F_y = N_y + W_y = N - mg \cos \theta = ma_y = 0$$

Sehingga gaya normal, N menjadi:

$$N - mg \cos \theta = 0$$

$$N = mg \cos \theta$$

Dalam bentuk vektor gaya normal dapat ditulis sbb:

$$\vec{N} = (mg \cos \theta) \vec{y}$$

**Gaya dan beban mekanik.** Setiap detik setiap hari, berbagai gaya bertindak pada tubuh Anda. Mereka mempengaruhi tubuh dan strukturnya saat istirahat dan selama gerakan. Efek dari kekuatan-kekuatan ini pada tubuh disebut beban mekanis. Misalnya, beban kompresi terjadi ketika suatu gaya menekan atau meremas pada suatu objek. Apakah Anda tahu bahwa Anda lebih tinggi di awal hari daripada Anda Apakah pada akhir hari? Siang hari, kekuatan gravitasi dan berat badan Anda membuat kompresi memuat yang meremas tulang belakang dan tulang Anda, mendorong mereka lebih dekat bersama dan membuat Anda menyusut. Di malam hari, itu beban kompresi diangkat ketika Anda berbaring tertidur, membiarkan tulang belakang dan tulang belakang meregang.

Beban mekanis lain yang mempengaruhi tubuh termasuk tegangan, tekuk, puntir, dan beban geser. Ketegangan terjadi ketika suatu gaya menarik benda. Kapan Anda otot-otot menarik tulang Anda, mereka menerapkan ketegangan. Pembengkokan terjadi ketika kekuatan ketegangan dan kompresi terjadi bersama. Ketika gaya

kompresi bekerja pada satu sisi benda dan gaya tarik bekerja di sisi lain sisi, objek tertekuk.

Torsi terjadi ketika salah satu ujung objek diperbaiki dan objek berputar di sekitar sumbu. Saat lapangan bermain memiliki banyak gesekan, itu dapat menyebabkan kaki atlet menjadi tetap di tanah. Memutar kekuatan di lutut atau pergelangan kaki dapat menyebabkan puntir dan menyebabkan cedera.

Pernahkah Anda patah tulang? Mungkin disebabkan oleh pergeseran beban pada tulang. Kekuatan geser mendorong satu bagian tubuh ke satu arah, sementara secara bersamaan mendorong bagian tubuh yang lain di dalam berlawanan arah. Gaya geser dapat memindahkan sebagian sebuah objek. Misalnya, jika gaya geser mengenai tulang kering Anda saat pergelangan kaki Anda terpasang dengan kuat di tanah, satu bagian dari tulang kering dapat dipindahkan, menyebabkan tulang patah. Selama banyak kegiatan, tubuh manusia mengalami beberapa jenis gaya dan beban secara bersamaan. Gabungan beban terjadi ketika lebih dari satu jenis beban dikirimkan ke suatu objek.

**Bentuk gerakan.** Ahli biomekanis sering membagi gerakan menjadi tiga kategori: linier, sudut, dan umum. Gerak linear terjadi ketika semua bagian dari suatu objek bergerak ke arah yang sama. Objek bisa bergerak masuk garis lurus, yang disebut gerak bujur sangkar (Gambar 3.9). Penumpang di dalam mobil yang menyusuri jalan lurus adalah contohnya gerakan bujur sangkar.



Gambar 3.9 Gerak lurus

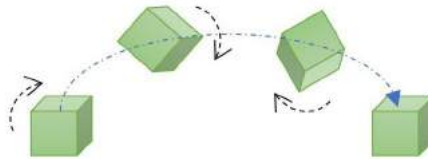
Suatu jenis gerak linier yang disebut gerak lengkung bergerak dalam lengkungan. Seorang anak yang berdiri tegak di ayunan menunjukkan gerakan lengkung. Gerakan sudut terjadi ketika suatu benda berputar sebuah sumbu. Ice skater melakukan putaran adalah contohnya gerak sudut (Gambar 3.10). Banyak gerakan tubuh Anda

adalah gerakan sudut. Misalnya, ketika tangan Anda diputar, maka tulang memutar di sambungan antara tangan dan bahu.



Gambar 3.10 Gerak lengkung

Gerak umum terjadi ketika gabungan gerak linier dan bersudut disatukan (Gambar 3.11). Gerakan manusia hampir selalu contoh gerakan umum. Ketika Anda berjalan, sendi Anda berputar dalam gerakan sudut, tetapi seluruh tubuh Anda bergerak dalam garis lurus, dalam gerakan linier.



Gambar 3.10 Gerak lengkung

**Dasar gerakan.** Untuk bergerak, tubuh manusia melewati serangkaian interaksi kompleks yang melibatkan sistem tubuh yang berbeda. Bahkan gerakan yang paling kecilpun membutuhkan koordinasi. Komunikasi antarotot, sistem kerangka, dan saraf semua ikut bermain.

**Sistem kerangka:** kerangka manusia adalah kerangka kerja yang mendukung tubuh manusia. Tanpa tulang, Anda tidak bisa berdiri, duduk, atau berjalan.

**Sistem otot:** otot terhubung ke tulang. Ketika otot berkontraksi, itu sering terjadi menghasilkan gerakan di sekitar sendi. Terkadang, kontraksi otot tidak menghasilkan gerakan, tetapi sebaliknya, mendukung tubuh dan meningkatkan stabilitas.

**Sistem saraf:** setiap gerakan yang Anda lakukan dikendalikan oleh sistem saraf atau koneksi otak dan tubuh. Otak mengirim sinyal pesan melalui saraf ke otot. Pesan-pesan ini berjalan melalui saraf dari sistem saraf hingga mencapai tujuan.

Sementara, masing-masing sistem ini sendiri penting, dengan bekerja sama mereka menciptakan gerakan. Misalnya, pikirkan tentang sesuatu yang sederhana seperti berjalan melintasi ruangan. Ketika Anda pertama kali memutuskan untuk berjalan, otak menentukan posisi tubuh Anda, mengevaluasi di mana Anda, dan mengirim pesan ke otot tertentu untuk pindah. Saat diaktifkan, otot-otot berkontraksi dan menggerakkan tubuh Anda di lantai. Sementara, beberapa otot aktif yang lain sedang bersiap untuk bertindak. Sepanjang prosesnya, sistem kerangka Anda menyatukan semuanya, menopang tubuh Anda sehingga Anda bisa berdiri dan berjalan.

**Gerakan untuk kesehatan.** Apa masalah besar tentang menggerakkan tubuh Anda? Gerakan itu penting karena tubuh manusia paling efisien bila digunakan secara teratur. Ketika seseorang istirahat terlalu lama, tubuh mulai melemah. Tanpa penggunaan teratur, otot kehilangan massa. Itu berarti Anda harus berolahraga dan menggunakan tubuh Anda sebanyak mungkin Anda mampu sehingga otot Anda tetap sehat. Selain itu, tidak aktif menyebabkan penurunan kepadatan tulang, membuat tulang Anda lebih lemah dan lebih mungkin untuk istirahat. Tidak aktif bahkan dapat menyebabkan ukuran jantung Anda berkurang, membuatnya lebih sulit untuk memompa darah ke seluruh tubuh Anda. Kurang gerak terkadang menyebabkan tidak sehat yaitu penambahan berat badan. Menurut lembaga kesehatan nasional, lebih dari dua sampai tiga orang dewasa Amerika dianggap kelebihan berat badan atau obesitas. Ini disebabkan oleh banyak faktor berbeda, termasuk kurang olahraga.

Gerakan teratur mengurangi tekanan darah, memperkuat hati, dan meningkatkan kepadatan tulang sehingga membuat tulang lebih kuat dan cenderung tidak mudah patah. Gerakan memungkinkan sistem kardiovaskular bekerja secara efisien dan mengurangi risiko penyakit jantung. Gerakan menguatkan sistem kekebalan tubuh.

Bagaimana perasaan Anda setelah Anda pergi jalan-jalan atau berlari? Gerakan bermanfaat bagi kesehatan mental seseorang, sehingga mengurangi stres, kecemasan, dan depresi. Jadi, bangun dan bergeraklah! Untuk lebih memahami bagaimana tubuh bergerak, Anda

pertama-tama harus selidiki bagaimana sistem tubuh yang berbeda ini bekerja saat tubuh dalam keadaan istirahat. Dasar-dasar ini, seperti struktur tubuh, reaksi kimia, pembangkit energi, dan prinsip-prinsip materi bergerak, membentuk landasan yang diperlukan untuk memahami gerakan manusia.

**Gaya gesek kinetik.** Gesekan kinetik yaitu gesekan yang dihadapi ketika permukaan bergesekan satu sama lain dengan kecepatan relatif yang terbatas. Gaya yang dihasilkan oleh gesekan ini, yang akan dilambangkan dengan simbol  $f_k$  bekerja berlawanan dengan gerak meluncur pada titik kontak antara permukaan.

Serangkaian percobaan sederhana menggambarkan karakteristik utama gesekan kinetik. Pertama, bayangkan menempelkan skala pegas ke objek kasar, seperti batu bata, dan menariknya melintasi meja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Jika batu bata bergerak dengan kecepatan konstan, hukum kedua Newton memberi tahu kita bahwa gaya total pada bata harus nol. Oleh karena itu, gaya yang dibaca pada skala  $F$ , memiliki besaran yang sama dengan gaya kinetik gesekan,  $f_k$ . Jika percobaan diulangi, tapi kali ini ditambah batu bata di atas yang pertama, kami menemukan bahwa gaya yang diperlukan untuk menarik batu bata dengan konstan kecepatan digandakan, menjadi  $2F$ .

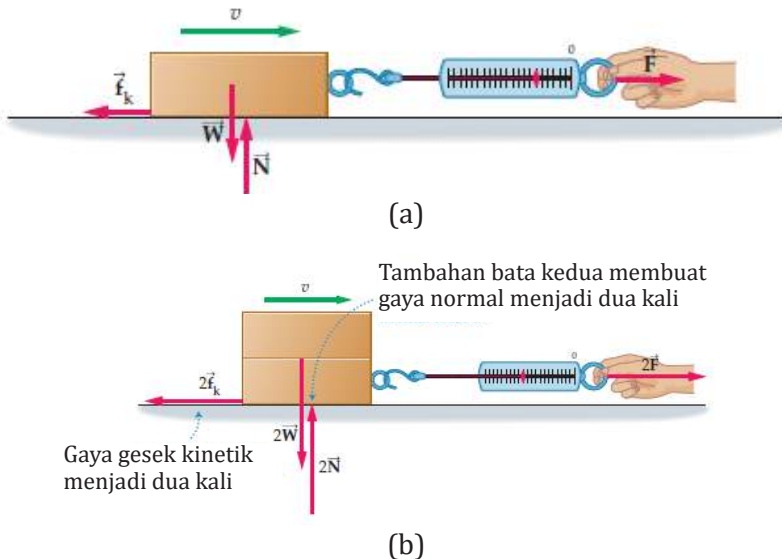
Pada Gambar 3.11 (a), gaya  $F$  diperlukan untuk menarik bata dengan kecepatan konstan  $v$ . Dengan demikian, gaya gesekan kinetik adalah

$$f_k = F$$

Pada Gambar 3.11 (b), kekuatan normal menjadi dua kali lipat sehingga kekuatan gesekan kinetik menjadi dua kali lipat. Dari percobaan ini dapat dilihat bahwa ketika gaya normal digandakan dengan menumpuk dua batu bata, misalnya, maka kekuatan gesekan kinetik juga berlipat ganda. Secara umum, gaya gesekan kinetik ditemukan sebanding dengan besarnya gaya normal,  $N$ . Dinyatakan secara matematis, pengamatan ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$f_k = \mu_k N \quad (3.10)$$

Konstanta gesekan, (dilafalkan “myu k”), disebut sebagai koefisien gesekan kinetik.



Gambar 3.11 Kekuatan kinetik gesekan tergantung pada gaya normal

### Daftar Pustaka

- Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa. (2019). *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)*. book online. Retrieved from <https://kbbi.web.id/dinamika>
- BrainKart. (2019). Application of Newton's Laws. Retrieved from [http://www.brainkart.com/article/Application-of-Newton---s-Laws\\_34503/](http://www.brainkart.com/article/Application-of-Newton---s-Laws_34503/)
- Collins. (2020). *Collins Dictionary*. Retrieved from <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/dynamics>
- Name, N. (2020). *Forces and Motion in the Human Body*.
- Noname. (2018). sumber stadion indonesia. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fec2-13-55-38-82.ap-southeast-2.compute.amazonaws>

com%2Fbola%2Fstadion%2Fstadion-indonesia%2Fauthor%2F947-ady-nugraha.html

NoName. (2012). Shake The Tree and Fruit Will Fall – Entrepreneurial Lessons in Business Development. Retrieved from <http://www.keyhubs.com/blog/shake-the-tree-and-fruit-will-fall-entrepreneurial-lessons-in-business-development/>

pixabay. (2014). men walking. Retrieved from <https://pixabay.com/vectors/men-walking-single-file-crossing-309202/>

Times, I. (2015). Cara Berjalanmu Berbicara Tentang Kepribadianmu Lho. Retrieved from [https://cdn.idntimes.com/content-images/post/20150926/berjalan7\\_lurus.jpg](https://cdn.idntimes.com/content-images/post/20150926/berjalan7_lurus.jpg)

Walker, J. S. (2010). *Physics*. Pearson Education, Inc.

Wikipedia. (2020). Red Bull Cliff Diving World Series. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_Bull\\_Cliff\\_Diving\\_World\\_Series](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_Bull_Cliff_Diving_World_Series).

## BAB 4

# HIDROSTATIKA

**Erwinsyah Satria**  
Universitas Bung Hatta  
erwinsyah.satria@bunghatta.ac.id

### 4.1 Pendahuluan

Banyak hal yang kita hargai dalam hidup adalah fluida atau zat alir: seperti menghirup udara musim dingin yang segar; nyala api biru yang panas di kompor gas kita; air yang kita minum, renangi, dan gunakan untuk mandi; dan darah dalam nadi kita. Apa sebenarnya zat alir itu? Bisakah kita memahami zat alir dengan hukum yang sudah disajikan, atau akankah hukum baru bisa muncul dari meneliti mereka? Karakteristik fisik dari zat alir statis atau stasioner dan beberapa hukum yang mengatur perilaku mereka adalah topik bahasan bab ini.

Hidrolika adalah studi tentang fluida dan dibagi menjadi hidrostatika (aerostatik), menyangkut fluida saat diam dan hidrodinamika (aerodinamika), mengenai fluida yang sedang bergerak (Stephens & Ward, 1972). Fluida adalah kumpulan partikel kecil tanpa batas dan mampu bekerja dan bergerak di antara satu sama lain di setiap arah tanpa gesekan (Webster, 1856).

Sifat hidrostatika yang sudah lama ditemukan oleh Archimedes of Syracuse (CCI. 287-212 B.C.), biasanya dikatakan sehubungan dengan apa yang disebut prinsip Archimedean. Archimedes memberikan pengembangan matematika untuk prinsip ini dalam Buku I dari sebuah karya yang berjudul *On Floating Bodies*. Banyak perhatian telah diberikan pada buku pertamanya tentang hidrostatik, berkebalikan dengan Buku II tentang benda apung. Namun, buku kedua lebih baik menunjukkan kejeniusan matematika dari Archimedes (Estes, 1963).

Objek ilmu Hidrostatika adalah untuk membahas sifat mekanik zat alir, atau untuk menentukan sifat alami aksi timbal balik yang



diberikan zat alir pada permukaan dengan siapa mereka bersentuhan, dan untuk menjelaskan dan mengklasifikasikan, di bawah hukum-hukum umum, fenomena yang bervariasi berkaitan dengan zat alir yang menjadi perhatian seorang pengamat. Untuk mencapai tujuan ini, perlu dibangun teori yang konsisten, didirikan berdasarkan pengamatan dan percobaan, yang dari mana, dengan proses penalaran deduktif, dan bantuan Geometri dan Aljabar, penjelasan dari fenomena akan mengalir sebagai konsekuensi dari definisi dan properti fundamental yang diasumsikan; uji dari teori akan menjadi bersesuaian dengan fakta yang diamati dari hasil pemikiran tersebut (Besant, 1890). Karena sifat dari sains yang mana ilmu diperoleh melalui adanya bukti empiris dan teori ditemukan dengan cara metode ilmiah serta berpikir kritis (Satria & Widodo, 2020; Satria & Sopandi, 2019).

Di bab ini akan dijelaskan konsep zat cair dan gas, tekanan pada zat alir, contoh penerapan hukum Pascal, hukum pokok hidrostatik, penerapan prinsip bejana berhubungan di keseharian, contoh penerapan hukum hidrostatik, pompa, dan turbin.

## 4.2 Cair dan Gas

Fluida adalah zat yang mengalir atau mampu mengalir. Dua bentuk cairan yang paling dikenal adalah udara dan air. Sifat zat-zat ini yang membedakan mereka paling mudah dari zat padat adalah yang mana dengan mudah massa dari mereka dapat dibagi lagi. Mereka tidak memberikan perlawanan terhadap pemisahan, atau dalam bahasa matematika, mereka tidak memberikan tekanan geser. Zat cair mempunyai volume tertentu, mudah berubah bentuknya, dan tidak mudah ditekan. Gas tidak mempunyai volume dan bentuk tertentu yang mudah dikompresi dan dapat dibuat untuk mengembang tanpa batas dengan meningkatkan volume yang dimilikinya (Ramsey, 2017). Cairan dan gas dianggap sebagai zat alir karena mereka menghasilkan gaya geser, sedangkan benda padat menahannya. Perhatikan bahwa sejauhmana cairan menghasilkan gaya geser (dan karenanya mengalir dengan mudah dan cepat) tergantung pada kuantitas yang disebut

viskositas. Kita dapat memahami fase-fase materi dan apa yang merupakan fluida dengan mempertimbangkan kekuatan-kekuatan di antara atom-atom yang berubah dalam tiga fase (Sears, Zemansky, & Young, 2013).

Zat alir adalah zat yang tidak mampu menahan gaya dan cenderung berubah bentuk. Zat cair tertentu menempati volume yang pasti, hampir tidak dapat dimampatkan dan hampir tidak terpengaruh oleh perubahan suhu, sedangkan massa gas yang diberikan benar-benar mengisi bejana yang tertutup, mudah dikompresi, dan sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu (Stephens & Ward, 1972; Halliday, Resnick, & Jearl Walker, 2011). Cair adalah keadaan materi yang dicirikan oleh mobilitas molekul. Cairan dapat mengambil bentuk sesuai wadahnya, tetapi masih ada kekuatan yang cukup besar (gaya kohesi) antara molekul, memanifestasikan diri dalam kompresibilitas rendah dan tegangan permukaan. Cairan terdiri dari partikel materi dengan vibrasi halus, seperti atom, yang disatukan oleh gaya antarmolekul. Sifat khas dari wujud cairan adalah tegangan permukaan, yang mengarah pada fenomena pembasahan (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006; Serway & Jewett, 2018).

Partikel gas dipisahkan berjauhan satu sama lain, dan akibatnya, memiliki ikatan antarmolekul yang lebih lemah daripada cairan atau padatan. Gaya antarmolekul ini dihasilkan dari interaksi elektrostatis antarpartikel gas. Gas yang mengandung ion bermuatan permanen dikenal sebagai plasma (Giancoli, 2016; Sears, Zemansky, & Young, 2013). Semua gas dapat dikonversi menjadi cairan dengan menurunkan suhu dan peningkatan tekanan. Untuk setiap gas ada suhu kritis sehingga untuk suhu yang lebih tinggi dengan tidak ada peningkatan tekanan akan menyebabkan gas mengembun, sedangkan untuk suhu yang lebih rendah, gas dapat terkondensasi dengan mengerutkan tekanan. Pada suhu di bawah suhu kritis gas disebut uap dan ketika di atas temperatur kritis disebut gas permanen (Ramsey, 2017).

Gas, keadaan materi di mana terdapat gaya yang lemah dan berjarak pendek yang bertabrakan di antara molekul-molekulnya. Gas dicirikan oleh kompresibilitas tinggi dan kurangnya tegangan

permukaan dan kohesi. Aliran gas juga dapat dijelaskan dengan hidrodinamika, tetapi kompresibilitas tinggi dan fluktuasi kepadatan yang dihasilkan harus diperhitungkan (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006).

### 4.3 Tekanan

Gagasan tentang tekanan menyiratkan sesuatu yang ditekan; misalnya permukaan yang tunduk pada gaya atau dorongan tertentu. Gaya yang diberikan oleh fluida statis pada suatu benda selalu tegak lurus terhadap permukaan dari objek (Serway & Jewett, 2018). Tekanan rata-rata pada permukaan bidang tertentu adalah tekanan seragam yang akan menghasilkan gaya dorong yang sama dengan tekanan aktual (Ramsey, 2017).

Benda zat cair juga memiliki tekanan. Karena zat cair memiliki berat sehingga memberikan gaya ke segala arah. Hal tersebut dapat dilihat pada bendungan air, jika bendungan tidak kuat untuk menahan tekanan air, maka bendungan tersebut akan hancur dan airnya akan tumpah.

Tekanan, gaya per satuan luas yang bekerja secara normal ke elemen permukaan dalam fluida. Karena mobilitas molekul fluida yang tinggi, gaya yang bekerja pada satu posisi merambat dengan cepat dan secara isotropik dengan besaran yang sama melalui seluruh volume fluida. Dalam fluida diam, gaya normal yang diberikan pada permukaan uji kecil (misalnya, bagian dinding kapal atau permukaan benda yang terendam) memiliki besaran yang sama di mana-mana dan tidak tergantung pada orientasi permukaan uji (tekanan isotropik, lihat Gambar 4.1). Ini hanya berlaku jika tekanan akibat gravitasi dapat diabaikan. Tegangan geser tidak ada dalam cairan (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006).

Secara matematis, tekanan dirumuskan sebagai berikut (Giancoli, 2016):

$$\text{Tekanan} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas Bidang}} \quad P = \frac{F}{A}$$

dengan:

$P$  = Tekanan ( $\text{N/m}^2$ )

$F$  = Gaya normal (N)

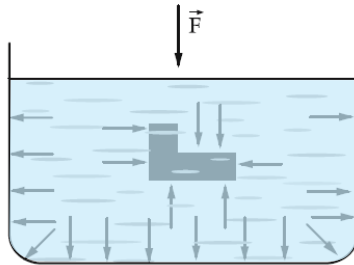
$A$  = Luas bidang ( $\text{m}^2$ )

Dalam satuan international, satuan tekanan adalah satuan gaya per satuan luas sama disebut Pascal (Pa). Dalam sistem CGS, satuan tekanan adalah  $\text{dyne/cm}^2$ . Satuan tekanan lainnya adalah:  $1 \text{ atm} = 14.7 \text{ lb/in.}^2 = 14.7 \text{ psi}$ .

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg}$$

$$1 \text{ N/m}^2 = 100.000 \text{ dyne/cm}^2$$

Tekanan bukan kuantitas vektor. Gaya adalah vektor dan tekanan adalah skalar. Tidak ada arah terkait dengan tekanan kerjanya ke segala arah dengan besaran yang sama (Serway & Jewett, 2018).



Gambar 4.1 Tekanan isotropik bekerja secara seragam dan isotropis; arah kekuatan ditunjukkan oleh panah

Tekanan atmosfer ( $P_0$ ), di permukaan laut sekitar  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ . Khusus untuk keperluan cuaca digunakan satuan atmosfer, cm-raksa (cm-Hg), dan milibar (mb).

$$1 \text{ mb} = 0,01 \text{ bar}, 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,01 \times \text{bar}$$

Alat mengukur tekanan yang biasa digunakan diantaranya: autoclave, yaitu bejana tekan untuk mengukur tekanan sangat tinggi ( $1000\text{-}10000 \text{ bar}$ ). Pompa vakum, mengukur tekanan yang sangat rendah (saat ini sampai ke  $10^{-11} \text{ bar}$ ). Tekanan ditentukan dengan mengukur gaya yang bekerja pada area yang diketahui: dalam manometer pegas, dalam barometer aneroid dengan deformasi kotak logam yang dievakuasi, dalam tabung Bourdon dengan deformasi tabung yang langsung ditransmisikan ke jarum penunjuk. Manometer

adalah bentuk pengukur tekanan sederhana yang mencatat secara langsung tekanan dalam pipa atau perbedaan tekanan antara dua titik dalam pipa.

Barometer merkuri, mengukur tekanan dengan membandingkan tekanan yang tidak diketahui dengan tekanan yang diketahui karena gravitasi kolom cair. Metode modern menggunakan elemen piezoelektrik di mana gaya yang diterapkan pada kristal menghasilkan tegangan listrik.

#### 4.3.1 Tekanan dalam Zat Cair

Seperti yang diketahui penyelam, tekanan air meningkat seiring kedalaman. Demikian juga, tekanan atmosfer berkurang dengan meningkatnya ketinggian; untuk alasan ini, pesawat terbang di ketinggian harus memiliki kabin bertekanan untuk kenyamanan penumpang. Tekanan yang ditemui oleh penyelam dan pendaki gunung biasanya disebut tekanan hidrostatik, karena mereka disebabkan oleh cairan yang statis (diam) (Halliday, Resnick, & Jearl Walker, 2011).

Jika zat cair dimasukkan ke dalam tabung, maka zat cair memberikan tekanan pada dinding tabung yang bersentuhan dengan zat cair. Sifat-sifat tekanan zat cair antara lain: (1) zat cair menekan ke segala arah dengan sama besar pada kedalaman yang sama, (2) makin ke dalam dari permukaan zat cair, tekanannya makin besar, (3) tekanan zat cair tidak bergantung pada bentuk wadahnya, (4) tekanan zat cair bergantung pada massa jenisnya (Cruise, Sherif, & Singh, 2007).

Tekanan zat cair dalam keadaan diam disebut tekanan hidrostatik (lihat Gambar 4.2). Besarnya tekanan hidrostatik dapat diukur dengan menggunakan alat Hartl. Tekanan hidrostatik bergantung pada massa jenis, ketinggian atau kedalaman zat cair, serta percepatan gravitasi bumi (Halliday, Resnick, & Jearl Walker, 2011). Tekanan karena gravitasi adalah tekanan yang dihasilkan dalam cairan dengan beratnya sendiri. Ini hasil dari gaya yang diberikan oleh kolom cair dengan tinggi  $h$  dan volume  $V = h.A$  pada area dasarnya  $A$ , dapat dirumuskan dengan:

Berat kolom = berat per satuan volume  $\times$  volume =  $\rho \cdot g \times A \cdot h$

Tekanan pada dasar kolom =  $P \times A$ , di mana  $P$  adalah tekanan pada basis.

$$\rho \cdot g \times A \cdot h = P \cdot A \longrightarrow P = s \cdot h = \rho \cdot g \cdot h$$

$P$  = tekanan hidrostatik ( $\text{N/m}^2$  atau  $\text{dn/cm}^2$ , Pascal atau atm)

$s$  = berat jenis zat cair ( $\text{N/m}^3$  atau  $\text{dn/cm}^3$ )

$h$  = jarak ke permukaan zat cair (m atau cm)

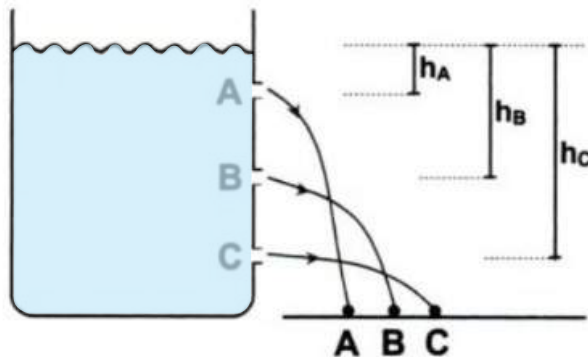
$\rho$  = massa jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$  atau  $\text{g/cm}^3$ ) ( $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ ).

$1000 \text{ liter} = 1 \text{ m}^3$

$g$  = gravitasi ( $\text{m/s}^2$  atau  $\text{cm/s}^2$ )

Kepadatan ( $\rho$ ) adalah karakteristik penting dari zat. Sangat penting dalam menentukan apakah suatu benda tenggelam atau mengapung dalam cairan. Kepadatan juga mengungkapkan sesuatu tentang fase materi dan strukturnya. Perhatikan bahwa kerapatan cairan dan padatan kira-kira sebanding, konsisten dengan fakta bahwa atom-atomnya berada dalam kontak dekat. Jumlah kerapatan gas jauh lebih sedikit daripada cairan dan padatan, karena atom-atom dalam gas dipisahkan oleh ruang kosong dalam jumlah besar (Sears, Zemansky, & Young, 2013).

Tekanan di C lebih besar daripada tekanan hidrostatik di B dan A, sehingga pancaran air lebih jauh pada titik C dibandingkan titik B dan A. Tekanan total pada kedalaman tertentu:  $P = P_o + \rho \cdot g \cdot h$



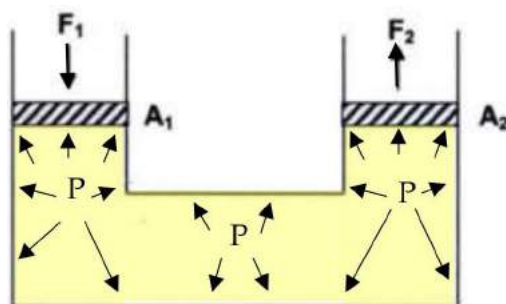
Gambar 4.2 Tekanan hidrostatik di kedalaman yang berbeda

Paradoks hidrostatik adalah tekanan di bagian bawah wadah/bejana hanya tergantung pada kepadatan cairan dan ketinggian kolom cair, tetapi tidak pada bentuk wadah, dan karenanya tidak pada jumlah cairan.

#### 4.3.1.1 Hukum Pascal

Karena tekanan dalam suatu fluida bergantung pada kedalaman dan pada nilai  $P_0$  (tekanan permukaan), setiap kenaikan tekanan pada permukaan harus ditransmisikan ke setiap titik lain dalam fluida. Konsep ini pertama kali dikenali oleh ilmuwan Prancis Blaise Pascal (1623–1662) dan disebut hukum Pascal: perubahan tekanan yang diterapkan pada fluida ditransmisikan tanpa batas ke setiap titik fluida dan ke dinding wadah, dengan sama besar (sama kuat) (Giancoli, 2016).

Hukum Pascal ini banyak dimanfaatkan untuk pembuatan peralatan hidrolik yang digunakan untuk memindahkan dan mengubah besar gaya, yaitu dengan memberikan gaya yang kecil untuk memperoleh gaya yang besar, seperti pada mesin atau proyek alat pengangkat hidrolik/pneumatik (Satria, 2018). Prinsip kerjanya seperti pada Gambar 4.3. Tekanan piston, tekanan yang dihasilkan dalam cairan dengan menekan piston yang dapat bergerak ke dalam silinder di dalam wadah cairan. Dalam keseimbangan statis tekanan  $P$  dari cairan hanya mengkompensasi gaya eksternal  $F_1$  dan  $F_2$ .



Gambar 4.3 Tekanan Piston pada mesin tekan hidrolik

Misalkan piston 1 mempunyai luas penampang  $A_1$ , dan piston 2 mempunyai luas penampang  $A_2$  dengan  $A_1 < A_2$ . Jika piston 1 diberi

gaya  $F_1$  ke bawah, maka zat cair yang berada dalam piston tersebut mengalami tekanan  $P_1$  sebesar  $F_1/A_1$ . Berdasarkan hukum Pascal, tekanan  $P$  akan diteruskan ke segala arah dengan sama besar sampai ke piston 2. Oleh karena  $A_2 > A_1$  maka  $F_2 > F_1$ . Hal inilah yang menyebabkan gaya yang bekerja pada penampang  $A_2$  menjadi lebih besar.

Secara matematis, hukum Pascal dinyatakan dengan:

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Keterangan:  $P_1$  = tekanan piston 1 (Pa),  $P_2$  = tekanan piston 2 (Pa),  $F_1$  = gaya pada  $A_1$  (N),  $F_2$  = gaya pada  $A_2$  (N),  $A_1$  = luas penampang 1 ( $m^2$ ),  $A_2$  = luas penampang 2 ( $m^2$ ).

Dari konversi energi, stroke piston di area yang lebih besar lebih rendah dengan faktor  $A_1/A_2$  daripada stroke di area yang lebih kecil. Penerapan hukum Pascal (Serway & Jewett, 2018) dengan penerapan prinsip piston untuk mengirim dan memperkuat gaya dalam pengaturan teknologi, di keseharian dapat ditemukan seperti pada: (1) dongkrak hidrolik, (2) mesin hidrolik pengangkat mobil, (3) rem hidrolik mobil, (4) kempa hidrolik, (5) pompa hidrolik. Keuntungan khususnya adalah kemungkinan mengubah arah gaya tanpa menggunakan elemen mekanis seperti tuas atau roller.

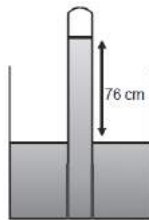
Untuk pembelajaran di sekolah ada KIT hidrostastika yang bisa digunakan sebagai media untuk menambah pemahaman siswa akan konsep tekanan dan aplikasi teknologinya (Satria, 2018; Sudarsana, dkk., 2019; Sudarsana, dkk., 2019) yang akan bisa meningkatkan aktivitas, minat, dan keterampilan ilmiah siswa (Satria, 2020; Satria; 2019).

Tidak seperti cairan, gas sangat kompresif. Pekerjaan kompresi yang dilakukan dalam mengompresi volume gas disimpan sebagai energi internal dalam gas dan dapat dilepaskan pada posisi apa pun dan kapan saja. Gas terkompresi berfungsi sebagai perangkat penyimpanan energi, dan digunakan dalam kontrol mesin (pneumatik).



Alat ukur merkuri (manometer merkuri sering digunakan untuk mengukur tekanan darah arteri), alat untuk pengukuran tekanan dengan perbandingan dengan tekanan karena gravitasi kolom merkuri. Di satu sisi pengukur, ada  $p$ , tekanan yang akan diukur, dan  $\rho g h_1$  (massa jenis  $\rho$ ,  $g$  percepatan gravitasi, tinggi  $h_1$ ), tekanan akibat gravitasi; dan di sisi lain, ada tekanan karena gravitasi kolom cair  $\rho g h_2$ , dan tekanan referensi  $p_0$ . Dalam keseimbangan:  $p - p_0 = \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$ .

Oleh karena itu, perbedaan tekanan sebanding dengan perbedaan ketinggian. Semakin berat cairan, semakin besar tekanan yang terukur. Dalam bentuknya yang paling sederhana, pengukur terdiri dari tabung gelas ditutup di ujung atas dengan ujung bawah terendam merkuri. Tekanan referensi yaitu tekanan dalam rongga di ujung atas, adalah tekanan uap merkuri yang sangat rendah (hampa udara). Perangkat yang sesuai yang dirancang untuk pengukuran tekanan atmosfer disebut barometer. Gambar 4.4 menunjukkan barometer Torricelli.



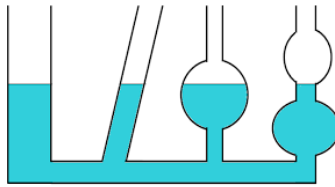
Gambar 4.4 Bentuk manometer paling sederhana.

#### 4.3.1.2 Bejana Berhubungan

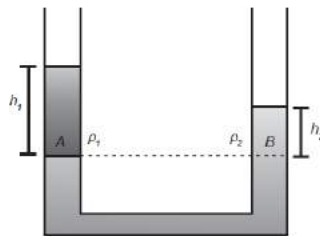
Salah satu sifat zat cair jika dalam keadaan diam, mempunyai permukaan yang datar. Jika zat cair yang sejenis (misalnya air) dimasukkan dalam bejana berhubungan yang memiliki empat tabung kaca yang berbeda bentuknya tampak bahwa permukaan air dalam keempat tabung tetap mendatar dan sama tinggi (lihat Gambar 4.5).

Tekanan hidrostatik pada titik A (Gambar 4.6) akan sama dengan tekanan hidrostatik pada titik B sehingga diperoleh persamaan:

$$P_A = P_B \longrightarrow \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \longrightarrow \rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$



Gambar 4.5 Permukaan zat cair dalam bejana berhubungan yang bentuk tabungnya berbeda



Gambar 4.6 Bejana berhubungan dengan zat cair yang massa jenisnya berbeda

### 4.3.1.3 Kompresibilitas

#### 1. Definisi Kompresibilitas

Kompresibilitas yaitu perubahan fraksional volume cairan karena perubahan tekanan (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006):

$$K = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta p} \longrightarrow K = \text{Kompresibilitas (1/Pa = m}^2/\text{N)}$$

$\Delta V$  = perubahan volume ( $\text{m}^3$ );  $V$  = volume awal ( $\text{m}^3$ );  $\Delta p$  = perubahan tekanan (Pa)

Nilai kompresibilitas khas berada dalam kisaran  $10^{-1}$  1/Pa. Dalam kondisi standar (suhu  $0^\circ\text{C}$  dan tekanan 101.325 kPa), air memiliki kompresibilitas  $0,5 \cdot 10^{-9}$  1/Pa. Di bawah tekanan atmosfer  $10^5$  Pa, volume air  $1 \text{ m}^3$  adalah:  $\Delta V = K V \Delta p = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ 1/Pa} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 50 \text{ cm}^3$ .

#### 2. Koefisien Ekspansi Volume

Koefisien ekspansi volume,  $\gamma$ , menggambarkan ekspansi cairan saat suhu meningkat (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006).

Ekspansi fraksional volume cairan sebanding dengan kenaikan suhu jika kecil dibandingkan dengan suhu asli.

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \Delta \theta$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \text{perubahan fraksi volume (1)}$$

$$\gamma = \text{koefisien ekspansi volume (1/K);}$$

$$\Delta \theta = \text{perubahan suhu (K)}$$

Koefisien ekspansi volume memiliki unit 1/K. Itu tergantung pada suhu bahan, dan biasanya suhu diberikan,  $\theta_0 = 0^\circ \text{C}$ . Koefisien ekspansi volume air pada  $20^\circ \text{C}$  adalah  $\gamma = 0,18 \cdot 1/\text{K}$ . Untuk gas ideal pada suhu ini,

$$\gamma = \frac{1}{\theta_0} = 3 \cdot 4 \times 10^{-3} 1/\text{K}$$

#### 4.3.1.4 Tekanan Karena Gravitasi Dalam Gas

##### 1. Perhitungan Tekanan Karena Gravitasi Dalam Gas

Dalam perhitungan tekanan karena gravitasi dalam gas, seseorang harus memperhitungkan kompresibilitas gas. Densitas gas pada tekanan  $p$  diberikan oleh:

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{p_0}$$

dengan menunjukkan densitas pada tekanan referensi  $p_0$ . Perubahan tekanan  $p$  untuk perubahan ketinggian  $h$  di atas area dasar kolom gas adalah (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006):

$$\Delta p = -\frac{\Delta m g}{A} = -\rho g \Delta h$$

##### 2. Persamaan Barometrik

Persamaan barometrik (Gambar 4.7) dari persamaan sebelumnya:

$$p = p_0 e^{-Ch} \quad C = \frac{\rho_0 g}{p_0}$$

Dengan:  $p$  = tekanan pada ketinggian  $h$  (Pa),  $h$  = ketinggian (m),  
 $C$  = konstanta (1/m),  $p_0$  = tekanan di permukaan tanah (Pa),  $\rho$  =

massa jenis di permukaan tanah ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  = kecepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ) (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006).

Tekanan dalam kolom gas (khususnya, di atmosfer bumi) berkurang secara eksponensial dengan ketinggian. Konstanta  $C$  untuk udara memiliki nilai  $C = 0.1256/\text{km}$ , untuk tekanan  $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$  di permukaan tanah dan suhu  $0^\circ\text{C}$ . Untuk setiap peningkatan ketinggian sekitar  $8 \text{ m}$  di dekat permukaan tanah, tekanan udara berkurang  $100 \text{ Pa} = 1 \text{ mbar}$ .

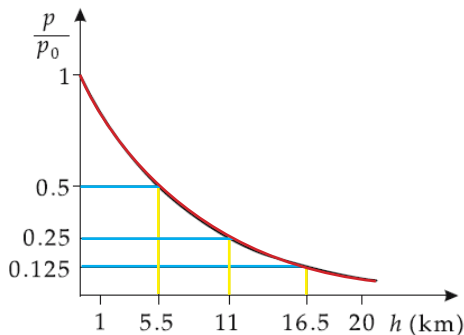
### 3. Persamaan Barometrik Internasional

Penurunan suhu dengan meningkatnya ketinggian tidak diperhitungkan dalam persamaan barometrik. Dimasukkannya variasi suhu ini mengarah ke persamaan barometrik internasional:

$$p = \left( 1 - \frac{\frac{0.00651}{m \cdot h}}{288} \right)^{5.255} \cdot 101.325 \text{ kPa}$$

Persamaan ini berlaku hingga ketinggian  $11 \text{ km}$ . Kepadatan udara diberikan oleh (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006):

$$\rho = \left( 1 - \frac{\frac{0.00651}{m \cdot h}}{288} \right)^{4.255} \cdot 1.2255 \text{ kg/m}^3$$



Gambar 4.7. Solusi dari persamaan barometric

#### 4. Standar Atmosfer

Tekanan atmosfer berfluktuasi sekitar 10%, tergantung pada cuaca dan suhu. Tekanan standar dan kepadatan standar udara di permukaan laut dan untuk 15 °C:

$$p_o = 101.325 \text{ kPa} \qquad \rho_o = 1.293 \text{ kg/m}^3$$

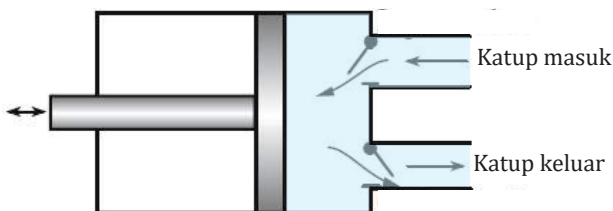
(sebelumnya: 760 Torr, dinamai untuk Evangelista Torricelli, yang menemukan barometer merkuri pada tahun 1674).

##### 4.3.1.5 Pompa

Pompa adalah mesin untuk mengangkut cairan dan gas.

#### 1. Tipe-Tipe Dari Pompa (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006)

- Pompa piston, piston bergerak bolak-balik dalam sebuah tabung. Dalam satu langkah, bahan yang akan dipompa ditarik melalui katup hisap, pada langkah mundur itu dikeluarkan melalui katup tekanan. Digunakan untuk engine (Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Prinsip pompa piston.

- Pompa diafragma, membran digunakan sebagai pengganti piston (misal, untuk cairan korosif, pompa bahan bakar).
- Pompa baling-baling, satu atau beberapa baling-baling yang ditempatkan dalam sebuah silinder bergerak bolak-balik, bukan piston; katup tekanan dimasukkan ke dalam baling-baling, katup hisap dipasang di pipa saluran masuk.
- Pompa roda gigi, persneling menekan cairan dari satu sisi ke sisi lain (sering sebagai pompa pelumas).

- e. Pompa putar, juga turbin atau pompa sentrifugal, cairan memasuki wilayah tengah dan ditangkap oleh baling-baling putar, dipercepat dan ditekan ke luar oleh gaya sentrifugal (pompa air keluaran tinggi yang digerakkan oleh motor listrik seperti pompa turbo) (Gambar 4.9).
- f. *Water-jet pump*, jet air yang mengalir melalui *nozzle* mengangkut udara keluar (lihat efek hisap dari cairan yang mengalir).
- g. Pompa penguap uap, semburan uap air mengangkut air.
- h. Pompa difusi, untuk menghasilkan tekanan tinggi. Bahan seperti minyak atau merkuri diuapkan di forevacuum. Ia naik, dengan demikian membawa molekul gas untuk dipompa melalui difusi ke dalam berkas uap; setelah kondensasi pada dinding yang didinginkan, ia diumpankan kembali (Gambar 4.10).
- i. Pompa molekuler, pompa turbin menggerakkan molekul gas ke daerah dengan tekanan lebih tinggi karena gesekan dalam tumbukan partikel dengan cakram berputar.
- j. Pompa pengambil/intake, untuk vakum sangat tinggi, berdasarkan pada absorpsi molekul gas residu pada zat yang bekerja (pengambil)

## 2. Properti dan Parameter Pompa (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006)

Tinggi pemompaan,  $H$ , ketinggian maksimum hingga cairan dapat dibawa oleh pompa. Kuantitas ini ditentukan oleh tekanan pompa yang tersedia yang dapat mengkompensasi tekanan kolom air setinggi ini. Parameter  $H$  juga membatasi kecepatan aliran yang mungkin dicapai dalam pipa; ketinggian pompa berkorelasi dengan aliran pompa, tergantung pada desain detailnya.

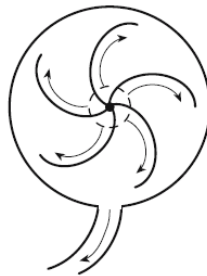
Aliran pemompaan,  $Q$ , aliran volume, volume cairan yang disampaikan per satuan waktu. Itu tergantung pada dimensi pompa, dan pada kecepatan aliran yang dicapai.

Kapasitas pemompaan,  $PQ$ , daya pemompaan, pekerjaan per unit waktu yang dapat dilakukan oleh pompa terhadap gravitasi, produk

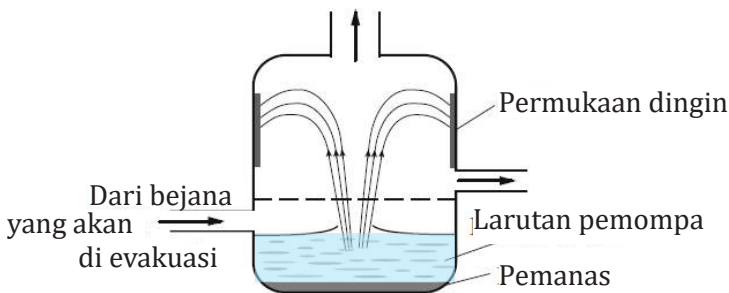
gaya gravitasi per volume  $pg$ , aliran volume  $Q$  dan tinggi pemompaan  $H$ :  $P_Q = \rho g H Q$

Efisiensi pompa, rasio kapasitas pemompaan yang dicapai  $P_Q$  dengan daya mekanik yang disediakan  $P_0$ :

$$\eta = \frac{P_Q}{P_0}$$



Gambar 4.9 Pompa putar. Pipa saluran masuk terhubung secara aksial



Gambar 4.10 Pompa difusi

### 3. Pompa Hisap dan Pompa Bertekanan

Pompa hisap mengeksplotasi tekanan atmosfer dengan menghasilkan wilayah sub-tekanan (misalnya dengan ekspansi volume akibat menggerakkan piston). Efek hisap kemudian muncul karena perbedaan tekanan antara tekanan atmosfer dan nilai tekanan bawah. Oleh karena itu, tekanan pompa maksimum adalah tekanan atmosfer, dan ketinggian hisap maksimum untuk air adalah sekitar 10 m. Pompa tekanan beroperasi secara langsung dalam medium, terlepas dari tekanan atmosfer.

#### 4. Turbin

Turbin, kebalikan dari pompa. Dalam turbin, energi aliran dimodifikasi jadi energi mekanik (energi rotasi) (misalnya untuk mengoperasikan generator). Berbeda dengan mesin piston, ini tidak terjadi dengan menggerakkan piston, melainkan poros yang digerakkan langsung oleh aliran.

Roda air, perangkat tertua yang mengubah energi aliran menjadi energi mekanik. Roda air dapat digerakkan oleh air yang jatuh ke baling-baling, atau dengan air yang mengalir di bawah roda dan membawa baling-baling. Efisiensi 80 hingga 85%. Kekuatannya diberikan oleh (Benenson, Harris, Stöcker, & Lutz, 2006):

$$P = g\rho Qh$$

( $g$  = percepatan gravitasi,  $\rho$  = kepadatan cairan, aliran volume =  $Q$ ,  $h$  = ketinggian jatuh).

Pembagian turbin sebagai berikut:

- a. Turbin air, mesin hidrolik yang memperoleh energi dari aliran air. Dalam turbin jet air, sebuah jet air menabrak baling-baling yang dipasang pada sulur. Dalam turbin Kaplan dan turbin Francis, air mengalir dari luar melalui baling-baling pemandu ke baling-baling yang bergerak, melepaskan energi kinetik ketika bergerak ke dalam, dan dibuang di dekat roda gandar/as. Daya: hingga 250 MW.
- b. Turbin uap, untuk produksi energi di pembangkit listrik termal. Pertama, uap dikembangkan pada roda pemandu tetap (yang tidak dapat terjadi pada turbin air karena ketidakterkompresian air) dan dengan demikian dipercepat ke kecepatan tinggi; kemudian ia menggerakkan satu atau beberapa baling-baling bergerak.
- c. Turbin gas, digerakkan oleh gas yang mudah terbakar: kombinasi turbin yang tepat yang digerakkan oleh gas limbah pembakaran panas dan kompresor yang mendahului pembakaran yang menekan udara ke dalam ruang bakar. Aplikasi untuk pesawat terbang sebagai mesin turboprop yang melibatkan baling-baling pada poros, dan mesin jet tanpa baling-baling; juga



untuk generator mobil, kadang-kadang untuk kendaraan darat. Keuntungannya adalah konstruksi sederhana dengan beberapa unit bergerak, bobot ringan per unit daya, laju rotasi tinggi (hingga 20.000 putaran/menit), efisiensi hingga 35% untuk perangkat multi-tahap dan bahan bakar murah.

Di bab ini belum dibahas daya apung, kohesi, adhesi, tegangan permukaan, dan kapilaritas yang jadi bagian dari hidrostatika.

#### 4.4 Kesimpulan

Ada banyak karakteristik lain yang membedakan cairan dari satu sama lain, seperti warna, tingkat transparansi, kualitas kimia, viskositas, dan lain-lain. Dalam teori Hydrostatics karakteristik yang sangat diperlukan adalah kepadatan/massa jenis dan berat.

Siswa akan paham lebih jelas sifat tekanan fluida, dan untuk melihat bahwa aksi fluida tidak tergantung pada kuantitasnya, tetapi pada posisi. Harus diingat dengan hati-hati bahwa tekanan hanya terikat dengan kedalaman di bawah bidang permukaan.

Jadi, dalam pembangunan gerbang-dermaga, atau kunci-kanal, bukan bentangan laut di luar yang akan memengaruhi tekanan, melainkan ketinggian permukaan; dan dalam mempertimbangkan kekuatan yang dibutuhkan dalam konstruksi, ketinggian permukaan terbesar akibat pasang surut juga harus diperhitungkan, juga karena pasang yang cepat atau badai. Prinsip yang sama menunjukkan bahwa dalam pembangunan tanggul, atau pemeliharaan tepian sungai, kekuatannya harus sebanding dengan kedalaman di bawah permukaan air.

#### Daftar Pustaka

- Stephens, R. C., & Ward, J. J. (1972). Hydrostatics. In Applied Mechanics (pp. 145-153). Palgrave, London
- Webster, T. (1856). *The Principles of Hydrostatics*. John W. Parker
- Estes, B. R. (1963, February). The Hydrostatics of Archimedes. In Proceedings of the Oklahoma Academy of Science (Vol. 43, pp. 188-190)

- Besant, W. H. (1890). *Elementary Hydrostatics*. Deighton, Bell and Company
- Satria, E., & Widodo, A. (2020, June). View of Teachers and Students Understanding of the Nature of Science at Elementary Schools in Padang City Indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1567, No. 3, p. 032066). IOP Publishing
- Satria, E., & Sopandi, W. (2019, October). Applying RADEC Model in Science Learning to Promoting Students' Critical Thinking in Elementary School. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1321, No. 3, p. 032102). IOP Publishing
- Ramsey, A. S. (2017). *Hydrostatics*. Cambridge University Press
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (2013). *College Physics*. Addison Wesley Publishing Company
- Halliday, D., Resnick, R., & Jearl Walker, J. (2011). *Fundamental of Physics*, edisi 9
- Benenson, W., Harris, J. W., Stöcker, H., & Lutz, H. (Eds.). (2006). *Handbook of Physics*. Springer Science & Business Media
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. Cengage learning
- Giancoli, D. C. (2016). *Physics: Principles with Applications*. Boston: Pearson
- Cruise, J. F., Sherif, M. M., & Singh, V. P. (2007). *Elementary Hydraulics*. Toronto, Ontario: Thomson/Nelson
- Satria, E. (2018 , March). Projects for the Implementation of Science Technology Society Approach in Basic Concept of Natural Science Course as Application of Optical and Electrical Instruments' Material. In *Journal of Physics: Conference Series*
- Satria, E., & Sari, S. G. (2018). Penggunaan Alat Peraga dan KIT IPA oleh Guru dalam Pembelajaran di Beberapa Sekolah Dasar di Kecamatan Padang Utara dan Nanggalo Kota Padang. *IKRA-ITH HUMANIORA: Jurnal Sosial dan Humaniora*, 2(2), 1-8
- Sudarsana, I. K., Mulyaningsih, I., Kurniasih, N., Wulandari, Y. O., Ramon, H., Satria, E., ... & Abdullah, D. (2019, November). Integrating Technology And Media In Learning Process. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1363, No. 1, p. 012060). IOP Publishing
- Sudarsana, I. K., Nakayanti, A. R., Sapta, A., Satria, E., Saddhono, K., Daengs, G. A., ... & Mursalin, M. (2019, November). Technology

Application In Education And Learning Process. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1363, No. 1, p. 012061). IOP Publishing

Satria, E. (2020). Improving Students' Scientific Skills, Cognitive Learning Outcomes, and Learning Interest in Natural Science in Class IV by Using Brain Based Learning Approach with Science Kit at SD Negeri 34 Kuranji Padang

Satria, E. (2019). Problem Based Learning Approach With Science Kit Seqip To Enhancing Students' Scientific Process Skills And Cognitive Learning Outcomes. *Jurnal Akrah Juara*, 4(2), 101-114

## **BAB 5**

# **USAHA DAN ENERGI**

**Herman Hi. Tjolleng Taba**

Universitas Sains dan Teknologi Jayapura  
herman@ustj.ac.id

### **5.1 Pendahuluan**

Setiap aktivitas dalam kehidupan manusia tidak dapat terlepas dari istilah energi dan usaha untuk pemenuhan hidup, bahkan dari sebelum dimulainya perkembangan revolusi industri. Manusia sendiri sebagai subjek utama yang banyak memanfaatkan usaha dan energi untuk menghasilkan energi dan usaha yang baru, berupa temuan atau teknologi yang dapat dimanfaatkan bagi kepentingan rumah tangga, perkantoran, transportasi, dan tentunya industri.

Usaha yang diberikan kepada sebuah benda oleh suatu gaya hanya bila titik tangkap gaya itu bergerak melewati suatu jarak dan ada komponen gaya sepanjang lintasan gerakannya adalah kerja, sedangkan energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Dalam mekanika klasik, teori tentang gerak yang sistem pergerakan benda tidak dapat diketahui seperti apa pergerakannya dan didasarkan pada konsep massa dan gaya, serta hukum-hukum yang menghubungkan konsep-konsep fisis ini dengan besaran kinematika dan dinamika sebaiknya digunakan hukum kekekalan energi (Valentinus Galih Vidia Putra, 2017).

Usaha dan energi adalah konsep dasar dalam memahami bentuk-bentuk aplikasi dan penerapan konsep fisika pada berbagai aktivitas manusia dan juga benda yang dikembangkan menjadi barang jadi dan dikenal sebagai sebuah hasil teknologi.

Usaha dan energi merupakan fondasi dalam memahami banyak hal dalam mengembangkan sebuah teknologi karena untuk

menghasilkan sebuah teknologi pastinya dibutuhkan usaha untuk dapat menghasilkan sebuah energi pada teknologi yang dikembangkan.

## 5.2 Usaha, Unit dari Kerja dan Daya

Usaha diistilahkan sebagai kemampuan yang dapat dilakukan selama selang waktu tertentu. Seperti dalam memahami tentang kemampuan seseorang untuk mampu memindahkan sebuah benda dari titik awal ke titik akhir yang dituju, berapa besar gaya yang mampu diberikan untuk memindahkan benda tersebut dalam selang waktu tertentu.

### 5.2.1 Usaha

Mari kita pertimbangkan partikel  $A$  yang bergerak di sepanjang kurva  $C$  di bawah aksi dari sebuah gaya  $F$  (Gambar. 5.1). Dalam waktu waktu sangat singkat  $dt$  berpindah dari  $A$  ke  $A'$ , pemindahan wujud  $A \rightarrow A' = dr$ . Pekerjaan dilakukan oleh gaya  $F$  selama pergantian didefinisikan oleh produk skalar (Alonso & Finn, 1967).

$$dW = F \cdot dr \quad (5.1)$$

Menandai besarnya  $dr$  (langkah jarak), kita juga bisa menulis persamaan (5.1) sebagai

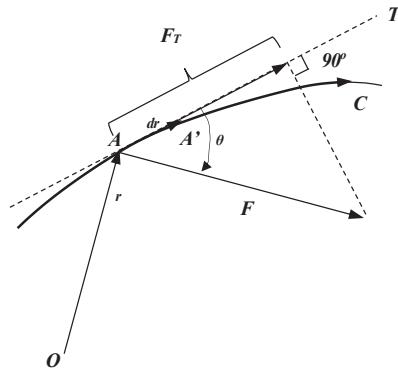
$$dW = F \cdot ds \cos \theta \quad (5.2)$$

Dengan sudut  $\theta$  antara arah gaya  $F$  dan pemindahan  $dr$ .

Sekarang  $F \cos \theta$  adalah komponen  $F_T$  dari gaya sepanjang garis singgung ke jalur, sehingga

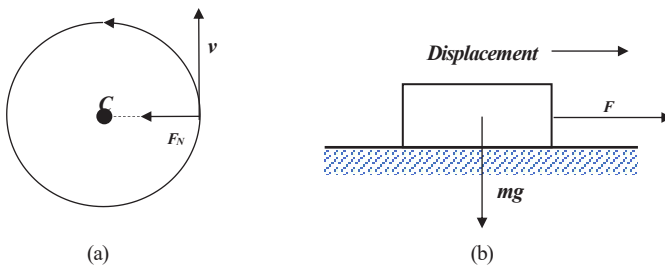
$$dW = F_T \cdot ds \quad (5.3)$$

Kita dapat mengungkapkan ini dengan mengatakan itu, Kerja sama dengan perpindahan kali komponen gaya di sepanjang perpindahan.

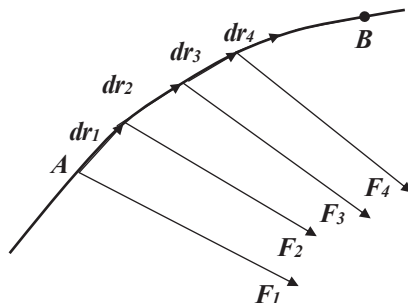


Gambar 5.1. Kerja adalah banyaknya pemindahan oleh komponen dari gaya sepanjang pemindahan.

Mari kita perhatikan bahwa jika suatu gaya tegak lurus terhadap perpindahan ( $\theta = 90^\circ$ ), kerja yang dilakukan oleh gaya adalah nol. Misalnya, ini adalah kasus untuk gaya sentripetal  $F_N$  dalam gerakan memutar (gambar 5.2a), atau gaya adalah gravitasi  $m \cdot g$  di mana suatu benda berpindah dalam suatu garis horisontal (Gambar 5.2b).



Gambar 5.2. Gaya – gaya yang tidak bekerja.



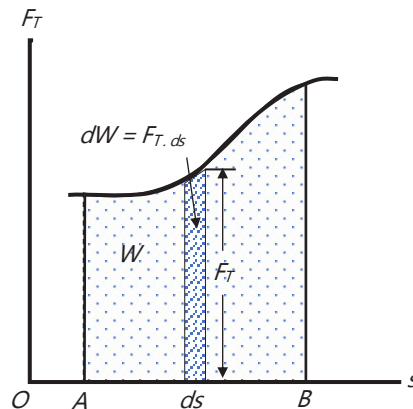
Gambar 5.3. Total kerja adalah jumlah dari banyak kerja yang sangat kecil

Persamaan (5.2) memberikan kerja untuk perpindahan yang sangat kecil. Total kerja yang dilakukan pada partikel saat bergerak dari  $A$  ke  $B$  (gambar 5.3) adalah jumlah dari semua kerja-kerja sangat kecil yang dilakukan selama perpindahan sangat kecil berturut-turut. ini adalah,

$$W = F_1 \cdot dr_1 + F_2 \cdot dr_2 + F_3 \cdot dr_3 + \dots \quad (5.4)$$

atau

$$W = \int_A^B F \cdot dr = \int_A^B F_T \cdot ds \quad (5.5)$$

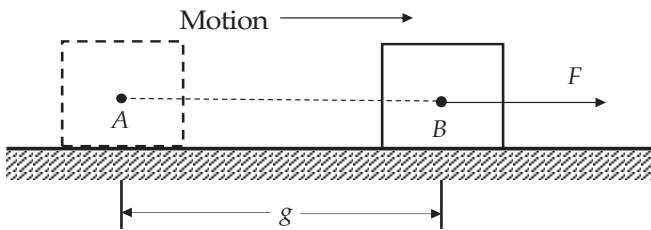


Gambar 5.4. Kerja total yang dilakukan dari  $A$  ke  $B$  adalah sama dengan daerah di bawah kurva.

Sebelum kita dapat melakukan integral yang muncul di persamaan (5.5), kita harus mengetahui  $F$  sebagai fungsi dari  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Juga, secara umum, kita harus mengetahui persamaan jalur di mana partikel bergerak. Kalau tidak, sebagai fungsi waktu atau variabel lainnya. Kadang-kadang lebih mudah untuk menampilkan  $F_T$  secara grafis. Pada Gambar. 5.4 telah direncanakan  $F_T$  sebagai fungsi dari jarak  $s$ . Kerja  $dW = F_T \cdot ds$  dilakukan selama  $ds$  terjadi perpindahan kecil sesuai dengan area persegi panjang sempit. Dengan demikian, kita dapat menemukan kerja total yang dilakukan pada partikel pada Gambar 5.3 untuk memindahkannya dari  $A$  ke  $B$  dengan cara membagi area mereka. Yaitu, kerja yang dilakukan diberikan oleh total area yang

diarsir pada Gambar 5.4 ke dalam persegi panjang yang sempit dan kemudian menambahkan wilayahnya. Artinya, kerja yang dilakukan diberikan oleh daerah berbayang total di Gambar 5.4.

Kasus tertentu yang menarik adalah bahwa gaya konstan dalam ukuran dan arah, serta benda bergerak dalam garis lurus ke arah gaya. Jika gaya adalah konstan dalam ukuran dan arah dan benda yang bergerak dalam garis lurus ke arah gaya Gambar 5.5, maka  $F_T = F$  dan persamaan 5.5 menjadi,



Gambar 5.5 Kerja dari sebuah gaya constan dalam ukuran dan arah.

$$W = \int_A^B F \cdot ds = F \int_A^B ds = F \cdot s \quad (5.6)$$

atau

$$W = F \cdot s \quad (5.7)$$

atau

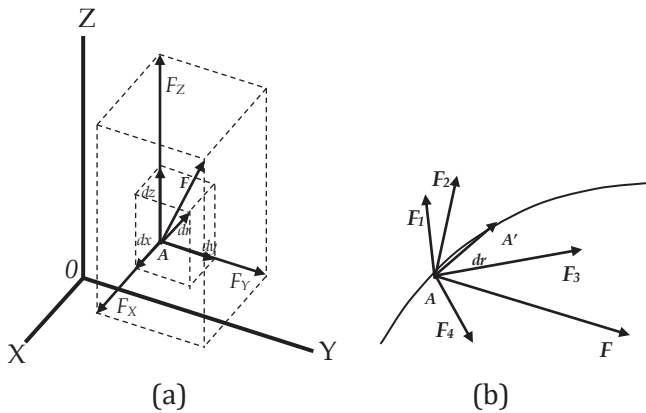
Usaha = gaya x jarak

Jika  $F_x$ ,  $F_y$ , dan  $F_z$  merupakan komponen persegi panjang (*rectangular*), dari  $\mathbf{F}$  dan  $dx$ ,  $dy$ , dan  $dz$  komponen persegi panjang dari  $d\mathbf{r}$  (Gambar 5.6.a),

$$W = \int_A^B (F_x \cdot dx + F_y \cdot dy + F_z \cdot dz) \quad (5.8)$$

Ketika partikel itu bereaksi oleh beberapa gaya  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \dots$ , kerja yang dilakukan oleh setiap gaya selama pemindahan  $A \rightarrow A' = d\mathbf{r}$  (Gambar 5.6.b) adalah  $dW_1 = \mathbf{F}_1 \cdot d\mathbf{r}$ ,  $dW_2 = \mathbf{F}_2 \cdot d\mathbf{r}$ ,  $dW_3 = \mathbf{F}_3 \cdot d\mathbf{r}$ , dan seterusnya.





Gambar 5.6. (a). Kerja yang dilakukan oleh sebuah gaya adalah sama dengan kerja-kerja yang dilakukan oleh komponen-komponen rectangular, (b). Ketika beberapa gaya bertindak pada sebuah partikel, kerja dari resultan adalah jumlah kerja-kerja yang dilakukan oleh komponen-komponen

Kerja total dapat ditulis,

$$\begin{aligned}
 dW &= dW_1 + dW_2 + dW_3 + \dots \\
 &= F_1 \cdot dr + F_2 \cdot dr + F_3 \cdot dr + \dots \\
 &= (F_1 + F_2 + F_3 + \dots) \cdot dr \\
 &= F \cdot dr
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

Dengan  $F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$ , adalah resultan gaya.

### 5.2.2 Daya

Dalam penerapan praktis, khususnya sehubungan dengan mesin dan teknik, penting untuk mengetahui tingkatan dari kerja. Daya didefinisikan oleh

$$P = \frac{dW}{dt} \tag{5.10}$$

Daya yang didefinisikan sebagai kerja per unit waktu.

### 5.2.3 Unit dari Kerja dan Daya

Dalam sistem MKSC, kerja diekspresikan dalam newton meter (Nm) atau joule (J). Jika  $N = m \cdot kg \cdot s^{-2}$  maka  $J = N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ .

Nama Joule berasal dari James Prescott Joule (1816-1869), banyak digunakan bagi penelitian dalam konsep panas dan energi.

Daya dalam sistem MKSC diekspresikan dalam Joule per second atau Watt. Jika  $J = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$  maka  $W = J \cdot s^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ .

Nama Watt berasal dari James Watt (1736-1819), yang memperbaiki mesin uap dengan penemuannya.

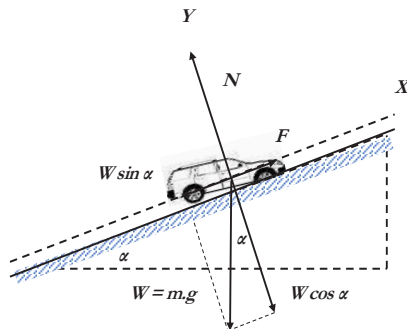
Watt umumnya digunakan adalah kilowatt (kW) dan megawatt (MW).  $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$  dan  $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$ . Para insinyur teknik menggunakan *horsepower* (hp).

Unit lain yang digunakan untuk mengekspresikan kerja adalah *kilowatt-hour*.  $1 \text{ kilowatt-jam} = (10^3 \text{ W}) (3.6 \times 10^3 \text{ s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ .

### Contoh 5.1

Jika sebuah mesin memiliki massa 1200 kg berpindah pada tanjakan dengan kemiringan  $5^\circ$  dengan kecepatan tetap 36 km per jam. Hitunglah kerja dari mesin tersebut dalam 5 menit dan daya yang dihasilkan. Abaikan semua efek yang mengganggu.

Solusi : gerakan mobil sepanjang jalan yang menanjak adalah karena gaya  $F$ , diberikan oleh mesin dan gaya  $W \sin \alpha$ , karena berat mobil (gambar 5.7), jadi kita harus menulis, menggunakan  $W = m \cdot g$ .  $F = m \cdot g \cdot \sin \alpha$ , karena gerakannya seragam,  $a = 0$ , dan  $F = m \cdot g \cdot \sin \alpha$  maka  $F = 1.023 \times 10^3 \text{ N}$ . Kecepatan mobil  $36 \text{ km} \cdot \text{hr}^{-1} = 36(10^3 \text{ m}) (3.6 \times 10^3 \text{ s})^{-1} = 10 \text{ ms}^{-1}$ , 5 menit = 300 s, maka kecepatan pada 5 menit diperoleh  $v_5 = (10 \text{ ms}^{-1})(300 \text{ s}) = 3 \times 10^3 \text{ m}$ .



Gambar 5.7 Pergerakan mobil pada jalan yang menanjak.

Jika gunakan persamaan (5.7), Kerja yang dilakukan oleh mesin diperoleh,

$$W = F \cdot s = (1.023 \times 10^3 \text{ N})(3 \times 10^3 \text{ m}) = 3.069 \times 10^6 \text{ J}$$

maka daya akan diperoleh,

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3.069 \times 10^6 \text{ J}}{3 \times 10^2 \text{ s}} = 1.023 \times 10^4 \text{ W}$$

atau,

$$P = F \times v = (1.023 \times 10^3 \text{ N})(10 \text{ ms}^{-1}) = 1.023 \times 10^4 \text{ W}$$

### 5.3 Energi

Energi merupakan istilah yang didefinisikan sebagai sesuatu yang tidak pernah hilang. Namun, energi hanya berubah bentuk menjadi energi yang baru. Seperti dalam pemahaman tentang konversi energi pada sebuah pembangkit bertenaga air bahwa energi air dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi putar pada poros untuk diteruskan pada sebuah generator agar generator dapat berputar untuk menghasilkan energi listrik.

Energi, kuantitas yang mencirikan keadaan (posisi, keadaan gerak, suhu, deformasi, dan lain-lain). Energi meningkat ketika kerja dilakukan pada benda, akan berkurang ketika kerja dilakukan oleh benda. Sehingga kerja menyebabkan perubahan kondisi benda (perpindahan, percepatan, peningkatan suhu, perubahan bentuk, dan lain-lain). Energi mengukur berapa banyak kerja yang dimasukkan ke dalam benda. Energi memiliki satuan SI yang sama seperti kerja yaitu joule (Benenson et al, 2002).

#### 5.3.1 Konservasi Energi

Energi tidak dapat dihancurkan dalam proses fisik, tetapi berbagai jenis energi dapat dikonversi dari satu energi ke energi lainnya.

Tabel 5.1 Hukum konservasi energi (Benenson et all, 2002)

<b>Hukum konservasi energi: dalam sistem tertutup, totalnya energi tetap konstan dalam semua proses fisik. Energi hanya dapat diubah menjadi bentuk yang berbeda, atau ditukar antara sistem parsial.</b>		<b>ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup></b>	
$\Sigma E_i = E_{pot} + E_{kin} + \dots = const.$	Simbol	Satuan	Kuantitas
	$E_i$	J	Jenis energi $i$
	$E_{pot}$	J	Energi potensial
	$E_{kin}$	J	Energi kinetik
	...	J	Jenis energi lainnya

5.3.2 Energi Kinetik

Kerja dilakukan selama percepatan, kerja yang dilakukan dalam mempercepat massa  $m$  dengan akselerasi  $\vec{a}$  melawan gaya inersia,

$$\vec{F}_T = -m\vec{a}, dW'_B = -m\vec{a} \cdot d\vec{r}$$

Energi kinetik, gerakan energi, energi gerak yang disediakan untuk benda oleh kerja yang dilakukan selama percepatan. Itu bisa dilepaskan, seperti dengan melakukan pengereman sebagai panas daripada gesekan.

$$dW_B = dW'_B = -\vec{F}_T \cdot d\vec{r} = m \frac{d\vec{V}}{dt} \vec{V} dt = m \cdot v \cdot dv = d(\frac{m}{2} v^2) (5.11)$$

Energi kinetik tergantung pada gerak benda dan pada referensi sistem. Hal ini mengungkapkan kepasifan pilihan nol daripada energi. Benda dengan kecepatan  $\vec{V}$  dalam satu sistem referensi energi kinetik.

Tabel 5.2 Kerja dilakukan selama percepatan (Benenson et all, 2002)

Kerja dilakukan selama percepatan		<b>ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup></b>	
$dW_B = m\vec{a} \cdot d\vec{r}$ $W_B = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2)$	Simbol	Satuan	Kuantitas
	$W_B$	J	kerja dilakukan selama percepatan massa benda percepatan elemen path Kecepatan akhir Kecepatan awal
	$m$	kg	
	$\vec{a}$	m/s <sup>2</sup>	
	$d\vec{r}$	m	
	$v$	m/s	
	$v_0$	m/s	

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

(5.12)

Dalam sistem referensi lain yang bergerak secara seragam dengan kecepatan dibandingkan dengan yang pertama, energi kinetik adalah

$$E'_{kin} = \frac{1}{2}m(v')^2 = \frac{1}{2}m(v^2 + 2\vec{v} \cdot \vec{v}_0 + v_0^2)$$

(5.13)

Benda dengan massa 5 kg berada pada ketinggian 2 m di atas lantai memiliki energi potensial 98,1 J. Jika jatuh, energi potensial dikonversi menjadi energi kinetik. Ketika mencapai lantai, total energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Kecepatannya adalah

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 98.1 \text{ J}}{5 \text{ kg}}} = 6.26 \text{ m/s}$$

(5.14)

5.3.3 Energi Potensial

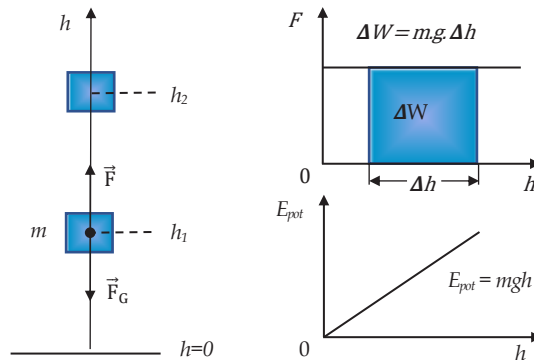
Umumnya, energi yang hanya bergantung pada posisi benda, tetapi bukan pada kecepatannya, disebut sebagai energi potensial.

Kerja yang dilakukan dalam mengangkat di medan gravitasi, kerja yang dilakukan dalam mengangkat benda melawan gaya gravitasi yang konstan adalah  $F_G = m \cdot g$ .

Tabel. 5.3. Kerja dilakukan dalam mengangkat (Benenson et all, 2002)

Kerja dilakukan dalam mengangkat			ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>
	Simbol	Satuan	Kuantitas
$W_H = F_G \cdot \Delta h$ $= m \cdot g \cdot \Delta h$	$W_H$	J	kerja dilakukan dalam mengangkat gaya gravitasi massa benda terangkat percepatan bebas gravitasi (9.81 m/s <sup>2</sup> ) perbedaan tinggi
	$F_G$	N	
	$m$	kg	
	$g$	m/s <sup>2</sup>	
	$\Delta h$	m	

Rumus ini berlaku hanya jika gaya gravitasi dapat dianggap konstan.



Gambar 5.8. Kerja dilakukan dalam mengangkat.

### 5.3.3 Sifat Dari Energi Potensial

Energi potensial, merupakan jumlah

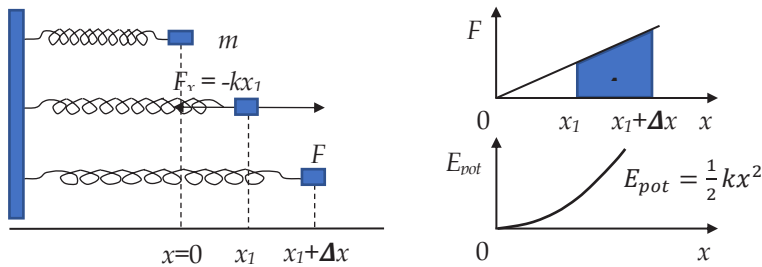
$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \quad (5.15)$$

Tinggi  $h$  diukur dari tinggi nol yang dipilih secara acak. Energi potensial tidak hanya tergantung pada tinggi nol yang dipilih, tetapi perbedaan energi potensial antara dua titik, oleh karena itu kerja yang dilakukan dalam mengangkat, independen dari pilihan ketinggian nol. Jika sebuah benda dengan berat 5 kg terangkat setinggi 2 m. Kerja yang dilakukan dalam mengangkat adalah

$$W_H = m \cdot g \cdot h = 5 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ m} = 98.1 \text{ J}$$

### 5.3.4 Kerja Dari Deformasi

Kerja yang dilakukan pada deformasi benda. Kerja deformasi terjadi ketika pegas diregangkan dengan panjang  $x$  melawan kekuatan kembalinya (gaya pegas)  $F = -kx$  (Gambar 5.9). Gaya pegas itu tidak konstan, tidak seperti gaya gravitasi, tetapi sebanding dengan gaya elongasi  $x$  untuk gangguan kecil pada pegas.



Gambar 5.9. Kerja dari deformasi dan energi ketegangan dari sebuah pegas.

Oleh karena itu, pekerjaan yang dilakukan oleh angkatan luar,  $F = -F_x$  dalam peregang pegas ketiga

$$W_F = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} F \cdot dx = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} kx \cdot dx \quad (5.16)$$

Jika pegas diperpanjang dari  $x_{\min}$  ke  $x_{\max}$ .

Tabel. 5.4. Kerja dari deformasi (Benenson et all, 2002)

Kerja deformasi			$ML^2T^{-2}$
	Simbol	Satuan	Kuantitas
$W_F = \frac{1}{2}k(x_{\min}^2 - x_{\max}^2)$	$W_F$	J	kerja dari deformasi
	$k$	N/m	konstanta pegas
	$x_{\min}$	m	Perpanjang dari posisi diam
	$x_{\max}$	m	Akhir memanjang dari posisi diam

### 5.3.5 Energi Ketegangan Dari Sebuah Pegas

Energi potensial dari benda yang elastik, mewakili kerja deformasi yang tersimpan dalam benda. Hal ini tergantung pada keadaan deformasi benda, dan dirilis kapan benda mengambil bentuk aslinya lagi.

Energi ketegangan per pegas, jumlahnya

$$E_F = \frac{1}{2}k \cdot x^2 \quad (5.17)$$

Ini menggambarkan kerja yang dibutuhkan untuk mengubah pegas dari keadaan bebas stres ( $x=0$ ) sampai  $x$  yang lebih panjang.

Bagian dari kerja deformasi selalu diubah menjadi panas oleh gesekan. Oleh karena itu, jumlah kinetik dan energi potensial yang bertahan; getarannya berkurang. Misalnya: getaran pegas.

Dalam getaran pegas, kinetik dan energi potensial dikonversi menjadi satu sama lain selama setiap siklus gerakan. Ketika gesekan diabaikan, total  $E$  energi adalah

$$E = E_{kin} + E_{pot} = \frac{1}{2}m \cdot v^2 + \frac{1}{2}k \cdot x^2 = \text{constan} \quad (5.18)$$

Oleh karena itu, kecepatan adalah massa  $m$  yang sepanjang  $x$ ,

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m} - \frac{k}{m} \cdot x^2} \quad (5.19)$$

Panjang maksimum  $x_{max}$  jika  $v = 0$

$$x_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m}} \quad (5.20)$$

Panjang maksimum, energi total disimpan sebagai energi potensial. Untuk  $x = 0$ , akan tetapi energi total adalah energi kinetik

$$E = \frac{1}{2}m \cdot v_{max}^2 \quad (5.21)$$

$v_{max}$  kecepatan pada  $x = 0$

### 5.3.6 Friction Work

Kerja yang menyimpang, kerja yang dilakukan terhadap angkatan yang berlawanan. Kerja yang diberikan berubah menjadi panas. Limpahan energi yang diubah menjadi panas oleh kerja friksional tidak bisa sepenuhnya diubah kembali menjadi energi mekanis oleh mesin panas.

Untuk gesekan geser, gaya friksional  $F_R$  adalah kira-kira konstan dan sebanding dengan gaya normal (gaya dukung) benda. Ini bertindak berlawanan dengan arah gerakan. Untuk permukaan yang sama pada benda yang bergerak, gaya gesekan tidak bergantung pada bidang permukaan penunjang.



Tabel. 5.5. Pergeseran (Benenson et all, 2002)

Pergeseran			$ML^2T^{-2}$
	Simbol	Satuan	Kuantitas
$dW_R = F_R \cdot dx$ $= \mu \cdot F_N \cdot dx$	$W_H$	J	kerja dilakukan dalam mengangkat
	$F_G$	N	gaya gravitasi
	$m$	kg	massa benda terangkat
	$g$	$m/s^2$	percepatan bebas gravitasi ( $9.81 m/s^2$ )
	$\Delta h$	m	perbedaan tinggi

## 5.4 Kesimpulan

Usaha dan energi adalah pondasi agar mudah paham terhadap model aplikasi dan penerapan konsep fisika dalam aktivitas manusia dan juga benda yang dikembangkan menjadi barang jadi dan dikenal sebagai sebuah hasil teknologi, tentunya sangat diperlukan usaha agar menghasilkan energi pada teknologi yang direncanakan.

Energi adalah sesuatu yang tidak pernah hilang, namun energi hanya berubah bentuk menjadi energi yang baru, diantaranya sebagai dasar pengembangan penerapannya yaitu energi kinetik dan energi potensial.

## Daftar Pustaka

- Alonso, M., & Finn, E. J. (1967). *Fundamental University Physics Volume I Mechanics*. Addison-Wesley. <http://en.bookfi.net/book/648926>
- Benenson et all, W. (2002). *Handbook of Physics*. Springer. <http://en.bookfi.net/book/1189230>
- Valentinus Galih Vidia Putra. (2017). *Pengantar Fisika Dasar I*. CV. Mulia Jaya Publisher. <http://en.bookfi.net/book/2264790>

## BAB 6

# ARUS DAN TAHANAN

**Tanwir**

Universitas Sains dan Teknologi Jayapura  
tanwir@ieee.org

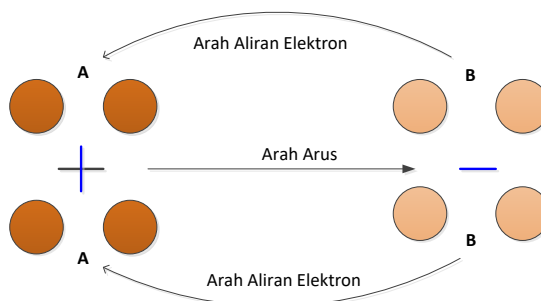
### 6.1 Pendahuluan

Salah satu deretan kejadian fisika yang menentukan interaksi medan elektromagnetik dengan beberapa partikel subatomik yaitu muatan listrik. Muatan berpindah menghasilkan medan magnet. Arus listrik menghasilkan medan magnet dan perubahan medan magnet menghasilkan arus listrik adalah elektron dan proton. dimana muatan merupakan kekekalan kuantitas, artinya jumlah muatan antara suatu sistem terisolasi bakal sering konstan tanpa memperhatikan perubahan yang berlangsung pada sistem tersebut. Dalam sistem, muatan bisa beralih antarbenda, tidak tahu lewat kontak langsung ataupun dilewatkan material berkonduksi semacam kawat. Penyebutan listrik statis merujuk pada terdapatnya muatan bersih pada sesuatu benda (Longair, 2020), umumnya diakibatkan oleh kedua material berlainan yang digosok serentak, menimbulkan perpindahan bagasi dari satu benda ke benda yang lain.

### 6.2 Arus

Arus listrik yakni suatu peredaran yang terjalin dampak jumlah muatan listrik yang mengalir dari satu titik ke titik lain, dalam suatu untaian tiap dasar waktu. Arus listrik serta berlangsung akibat, adanya beda potensial atau tegangan pada media penghantar antara dua titik, dengan demikian arus listrik yang mengalir secara searah atau DC sehingga pada rangkaian tersebut ditentukan dengan adanya kutub positif (+) dan kutub negatif (-). Setelah itu arus hendak mengalir dari kutub positif ke kutub negatif. Sebaliknya, pada arus listrik bolak-balik, arus listrik hendak mengalir secara bolak-balik sebab diakibatkan

dengan pergantian polaritas tegangan ataupun AC (Woan, 2000). Semakin besar perbedaan yang ada maka nilai arus listrik yang terjadi juga semakin besar. Ketika dua konduktor (A) dan (B) diisi muatan positif dan negatif yang dihubungkan dengan kawat penghantar (C). Elektron-elektron bebas yang berada pada konduktor (B) akan ditarik oleh konduktor (A) melalui kawat penghantar (C). Kemudian akan menyebabkan terjadinya arus elektron dari konduktor (B) yang bermuatan negatif ke konduktor (A) yang bermuatan positif seperti pada Gambar 6.1 di bawah ini.

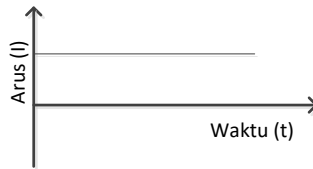


Gambar 6.1 Arus Listrik

Pergerakan-pergerakan elektron inilah yang kemudian menyebabkan terjadinya arus listrik dari konduktor (A) yang bermuatan positif ke konduktor (B) yang bermuatan negatif. Dengan demikian, aliran listrik bergerak dari muatan positif ke muatan negatif. Arus listrik dibedakan menjadi dua dilihat dari arah alirannya, yakni:

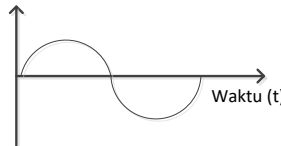
1. Arus searah (*direct current* atau DC), pada arus searah ini arus listrik mengalir dari titik berpotensi teratas menuju titik berpotensi rendah.
2. Arus bolak balik (*alternating current* atau AC). Jenis arus ini mengalir secara berubah ubah mengikuti garis waktu.

Untuk lebih memahami dua jenis arus listrik dapat di ilustrasi seperti pada gambar 6.2 di bawah ini.



Gambar 6.2 Arus Listrik Searah

Gambar 6.2 merupakan grafik hubungan arus terhadap waktu yang mana merupakan jenis arus listrik searah. Sedangkan pada grafik arus bolak-balik memperlihatkan grafik arusnya bernilai tetap untuk setiap waktunya seperti pada gambar 6.3 di bawah ini.



Gambar 6.3 Arus Listrik Bolak-Balik

Berbeda dengan grafik hubungan arus terhadap waktu di atas, yakni pola arus yang ditimbulkan. Pada arus listrik bolak-balik nilai arus berganti dari positif ke negatif dan selalu berulang setiap periode yakni pola arus yang ditimbulkan (Franceschetti et al., 2016). Pada arus listrik bolak-balik nilai arus berganti dari positif ke negatif dan selalu berulang setiap periode.

Berdasarkan sifatnya, arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian dapat menimbulkan suatu energi yang merupakan sifat dari arus listrik, yaitu:

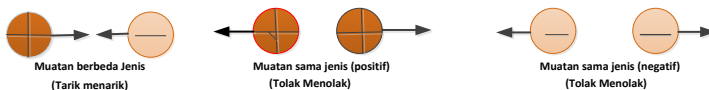
1. Menghasilkan energi panas
2. Menghasilkan energi magnet
3. Menghasilkan energi cahaya
4. Menimbulkan reaksi kimia

Secara matematis bahwa arus listrik merupakan perbandingan antara muatan terhadap waktu. Arus listrik merupakan muatan listrik yang mengalir dengan perangkat pengukurannya adalah ampere (A). Besarnya arus listrik maupun kuat arus listrik sejalan dengan

dengan banyaknya beban listrik yang mengalir. Kuat arus listrik menggambarkan kesigapan peredaran beban listrik. Akibatnya, kuat arus listrik dapat diartikan sebagai jumlah beban listrik yang melalui penampang. Suatu penghantar setiap ukuran periode. Dengan dasar beban listrik selaku beban dasar yang dimiliki oleh suatu benda, yang membuatnya mengalami gaya pada benda lain serta memiliki beban listrik di antara jarak yang berdekatan di mana beban listrik yakni Coulomb yang lazimnya dilambangkan dengan huruf C. Sedangkan beban listrik selalu disimbolkan dengan Q.

Istilah coulomb bersumber dari penemunya yang bernama Charles Augustin de Coulomb, yakni seorang pakar fisika Perancis yang berhasil menemukan prinsip bahwa beban listrik, pada dasarnya terdiri dari dua kategori yakni beban positif (+) dan beban negatif (-). Di antara dua beban ini akan terjadi interaksi sentak menarik pada beban yang berbeda jenis, sedangkan akan terjadi interaksi tolak menolak pada beban yang sesuai kategori (Cohen et al., 2003). Prinsip tersebut kemudian dikenal dengan Hukum Coulomb (*Coulomb Law*). Hukum Coulomb ini pertama kali diumumkan oleh Charles Augustin de Coulomb pada tahun 1784. Bersumber pada temuan Charles Augustin de Coulomb yang dituturkan di atas, hingga penyebutan dari Hukum Coulomb sebagai berikut:

Gaya pada beban akan saling tarik-menarik apabila kedua muatan tidak sejenis, dan akan saling tolak-menolak apabila kedua muatan sejenis seperti pada gambar 6.4 di bawah ini.



Gambar 6.4. Hukum Coulomb

Jadi, pada dasarnya, Hukum Coulomb adalah hukum yang menjelaskan hubungan antara gaya yang timbul antara dua titik beban yang terpisahkan pada jarak tertentu dengan nilai beban dan jarak pisah keduanya. Maka hubungan beban listrik, kuat arus listrik, dan kecepatan aliran arus listrik dapat ditulis menjadi rumus seperti berikut ini:

$$Q = I \cdot t \quad (6.1)$$

dengan :

$I$  = arus listrik, dalam satuan Ampere (A)

$Q$  = muatan listrik, dalam satuan Coulomb (C)

$t$  = waktu atau Kecepatan aliran arus listrik, dalam satu detik atau second (t)

Berdasarkan persamaan 6.1 bahwa pada dasarnya 1 Coulomb adalah sama dengan 1 Ampere Second (As) bisa disimpulkan bahwa satu coulomb yaitu beban listrik yang melalui sebuah titik dalam suatu penghantar dengan arus listrik tetap satu ampere dan mengalir selama satu sekon, mengingat muatan elektron sebesar  $-1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ , dengan tanda negatif (-) menunjukkan jenis muatan negatif, maka banyaknya elektron ( $n$ ) yang menghasilkan muatan 1 coulomb dapat dihitung sebagai berikut.

$$1 \text{ C} = n \times \text{besar muatan elektron}$$

$$1 \text{ C} = n \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C},$$

$$n = 1/1,6$$

Jadi, dapat dituliskan  $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  elektron.

### Contoh Soal 6.1

Sebuah baterai *rechargeable* (baterai isi ulang) diisi dengan arus listrik sebesar 0,1 Ampere selama 9 jam, berapakah muatan listrik setelah waktu pengisian tersebut?

Penyelesaian :

$$I = 0,1 \text{ Ampere}$$

$$t = 9 \text{ jam } (9 \times 60 \times 60 = 32.400 \text{ detik})$$

$$Q \dots ?$$

$$Q = I \cdot t = 0,1 \times 32.400 = 3.240 \text{ Coulomb}$$

Jadi, muatan listriknya adalah sebesar 3.240 Coulomb.

### Contoh Soal 6.2

Muatan sebesar 200 Coulomb mengalir dalam 50 detik. Hitunglah kuat arus listriknya ?

Penyelesaian :

$$Q = 200 \text{ Coulomb}$$

$$t = 50 \text{ detik}$$

$$I = \dots ?$$

$$Q = I \cdot t$$

$$I = Q / t = 200 / 50 = 4 \text{ Ampere}$$

Dengan demikian, apabila hukum coulomb tersebut dijabarkan diperoleh "gaya tarik menarik ataupun gaya tolak menolak antara dua muatan listrik sebanding dengan muatan-muatannya serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak yang memisahkan kedua muatan tersebut "secara matematis dapat ditulis menjadi rumus seperti berikut ini :

$$F = k \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2} \quad (6.2)$$

dengan :

F = gaya tarik manarik/tolak menolak (newton)

Q = muatan listrik (Coulomb)

r = jarak antara kedua muatan (m)

k = konstanta =  $1 / 4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik dalam ruang hampa/udara sebesar  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$

### Contoh Soal 6.3

Carilah besarnya gaya pada muatan  $q_1 = 1 \text{ uC}$  dengan muatan  $q_2$  dengan muatan  $-2 \text{ uC}$  pada jarak 50 cm, jika diketahui  $k = 9.10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .

Penyelesaian :

$$q_1 = 1 \text{ uC}$$

$$q_2 = -2 \text{ uC}$$

$$k = 9.10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$F = 9.10^9 \frac{1.10^{-6} \times 2.10^{-6}}{0,5} = 0,036 \text{ N}$$

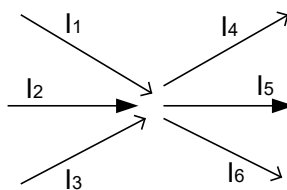
Berdasarkan hal itu, karena arus listrik dapat dianalogikan sebagai aliran air pada sebuah saluran. Kian besar tekanan airnya dan makin kecil pembatasan pada pipa (ukuran pipa yang besar) sehingga jumlah aliran air pula akan banyak.

Menurut hukum Kirchhoff menggambarkan salah satu hukum dalam ilmu elektronika yang berperan buat menganalisa arus serta tekanan dalam susunan. Hukum Kirchhoff mula-mula dimunculkan oleh seseorang ahli fisika Jerman yang bernama Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) pada tahun 1845. Hukum Kirchhoff terdiri dari 2 bagian yakni Hukum Kirchhoff 1 dan Hukum Kirchhoff 2.

Hukum Kirchhoff 1 menggambarkan Hukum Kirchhoff yang bersangkutan dengan dengan arah arus dalam mendapati titik percabangan. Hukum Kirchhoff 1 ini selalu diujarkan serta dengan Hukum Arus Kirchhoff maupun Kirchhoffs Current Law (KCL)(Schiller, 2020).

Maksud Hukum Kirchhoff 1 adalah sebagai berikut :

“Arus sepenuhnya yang masuk melalui suatu titik percabangan dalam suatu rangkaian listrik serupa dengan arus seluruhnya yang timbul dari titik percabangan tersebut”, seperti pada Gambar 6.5 di bawah ini.



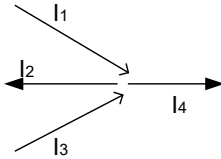
Gambar 6.5 Hukum Kirchhoff KCL

Berdasarkan rangkaian di atas, dapat dirumuskan bahwa :

$$\begin{aligned}
 I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 - I_6 &= 0 \\
 I_1 + I_2 + I_3 &= I_4 + I_5 + I_6
 \end{aligned}
 \tag{6.3}$$

Dimana arus yang masuk sesuai dengan arus yang keluar.



**Contoh Soal 6.4**

Dari rangkaian di atas, diketahui bahwa

$$I_1 = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = 4 \text{ A}$$

$$I_3 = 2 \text{ A}$$

Berapakah arus  $I_4$  ?

Penyelesaian :

Berdasarkan gambar rangkaian di atas, belum diketahui arus yang masuk serupa arus yang keluar. Oleh karena itu, Jadi arus yang masuk adalah:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

Arus yang keluar adalah:

$$I_1 + I_3 = 4 + I_4$$

$$3 + 2 = 4 + I_4$$

$$I_4 = 5 - 4$$

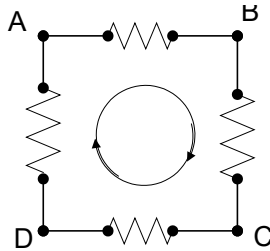
$$I_4 = 1 \text{ Ampere}$$

Maka besarnya arus pada  $I_4$  sebesar 1 Ampere.

Hukum Kirchhoff 2 menggambarkan Hukum Kirchhoff yang digunakan untuk menganalisis tegangan atau beda potensial komponen-komponen elektronika pada suatu rangkaian tertutup. Hukum Kirchhoff 2 ini serta dikenal dengan nama Hukum Tegangan Kirchhoff alias Kirchhoffs Voltage Law (KVL).

Sebutan Hukum Kirchhoff 2 sebagai berikut:

“Keseluruhan Tekanan( beda potensial) pada sesuatu untaiian tertutup yakni nol”, seperti pada gambar 6.6 di bawah ini.

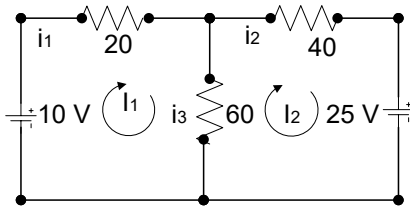


Gambar 6.6 Hukum Kirchhoff KVL

Berdasarkan rangkaian di atas, dapat dirumuskan bahwa :

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} = 0$$

### Contoh Soal 6.5



Perhatikan rangkaian di atas, nilai-nilai resistor yang terdapat di rangkaian yakni sebagai berikut:

$$R_1 = 20 \, \Omega$$

$$R_2 = 40 \, \Omega$$

$$R_3 = 60 \, \Omega$$

$$V_1 = 10 \, \text{V}$$

$$V_2 = 25 \, \text{V}$$

Berakah arus yang melewati resistor  $R_3$  ?

Penyelesaian:

Di dalam rangkaian tersebut, terdapat 3 percabangan, 2 titik, dan 2 loop bebas (*independent*).

Gunakan Hukum Kirchhoff I (Hukum Arus Kirchhoff) untuk persamaan pada titik A dan titik B

$$\text{Titik A : } I_1 + I_2 = I_3$$

$$\text{Titik B : } I_3 = I_1 + I_2$$

Gunakan Hukum Kirchhoff II (Hukum Tegangan Kirchhoff) untuk Loop 1, Loop 2 dan Loop 3.

$$\text{Loop 1 : } 10 = R_1 \times I_1 + R_3 \times I_3 = 20I_1 + 60I_3$$

$$\text{Loop 2 : } 25 = R_2 \times I_2 + R_3 \times I_3 = 40I_2 + 60I_3$$

$$\text{Loop 3 : } 10 - 25 = 20I_1 - 40I_2$$

Semacam yang disebut sebelumnya bahwa  $I_3$  adalah hasil dari penjumlahan  $I_1$  dan  $I_2$ , maka persamaannya dapat di buat seperti di bawah ini :

$$\text{Persamaan 1 : } 10 = 20I_1 + 60(I_1 + I_2) = 80I_1 + 60I_2$$

$$\text{Persamaan 2 : } 25 = 40I_2 + 60(I_1 + I_2) = 60I_1 + 100I_2$$

Jadi, saat ini dengan memiliki 2 persamaan, dari persamaan tersebut diperoleh nilai  $I_1$  dan  $I_2$  sebagai berikut :

### Cara I

$$\text{Persamaan 1 : } 10 = 80I_1 + 60I_2 \text{ dikali } \times 5$$

$$\text{Persamaan 2 : } 25 = 60I_1 + 100I_2 \text{ dikali } \times 3$$

Diperoleh :

$$50 = 400I_1 + \cancel{300I_2}$$

$$75 = 180I_1 + \cancel{300I_2} \quad \text{---}$$

$$25 = 220I_1$$

$$I_1 = 25 / 220 = \mathbf{0,114 \text{ Ampere}}$$

$$\text{Persamaan 1 : } 10 = 80I_1 + 60I_2 \text{ dikali } \times 3$$

$$\text{Persamaan 2 : } 25 = 60I_1 + 100I_2 \text{ dikali } \times 4$$

Diperoleh:

$$30 = \cancel{240I_1} + 180I_2$$

$$100 = \cancel{240I_1} + 400I_2 \quad \text{---}$$

$$70 = 220I_1$$

$$I_1 = 70 / 220 = \mathbf{0,318 \text{ Ampere}}$$

### Cara II

Dengan menggunakan matriks yaitu;

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 60 \\ 25 & 100 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 80 & 60 \\ 60 & 100 \end{vmatrix}} = \frac{1000 - 1500}{8000 - 3600} = \frac{500}{4400} = 0,114 \text{ Ampere}$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 80 & 10 \\ 60 & 25 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 80 & 60 \\ 60 & 100 \end{vmatrix}} = \frac{2000 - 600}{8000 - 3600} = \frac{1400}{4400} = 0,318 \text{ Ampere}$$

Maka diperoleh;

$$I_1 = 0.114 \text{ Ampere}$$

$$I_2 = 0.318 \text{ Ampere}$$

besarnya arus pada  $I_3 = I_1 + I_2$ , maka arus listrik yang mengalir pada  $R_3$  sebesar  $0.114 + 0.429 = \mathbf{0.286 \text{ Ampere}}$ .

### 6.3 Tahanan

Tahanan (resistor, hambatan) adalah suatu komponen elektronik yang dapat mengurangi arus listrik. Arus listrik yang mengalir lewat konduktor akan mendapatkan hambatan atau tahanan dari kawat penghantar (konduktor) itu sendiri, akibatnya banyaknya beban listrik yang mengalir dalam sesuatu susunan listrik dalam setiap perangkat periode yang diakibatkan oleh adanya pergerakan elektron- elektron pada konduktor. Maka tahanan listrik ini diartikan pula sebagai penghambat peredaran elektron dalam konduktor.

Besar tahanan dalam suatu rangkaian listrik diukur dengan satuan Ohm atau dilambangkan dengan lambang Omega " $\Omega$ ". Sebaliknya prefiks ataupun prefiks SI (Standar Internasional) yang dipakai untuk menunjukkan kelipatan pada dasar ketahanan itu merupakan kilo Ohm, mega Ohm serta giga Ohm.

$$1 \text{ Kilo ohm} = 1.000 \text{ Ohm } (10^3 \text{ ohm})$$

$$1 \text{ Mega ohm} = 1.000.000 \text{ Ohm } (10^6 \text{ ohm})$$

$$1 \text{ Giga ohm} = 1.000.000.000 \text{ Ohm } (10^9 \text{ ohm})$$

Pada dasarnya, tiap materi penghantar maupun konduktor mempunyai watak yang menghalangi arus listrik, besaran tahanan

listrik pada sesuatu penghantar ataupun konduktor dipengaruhi oleh sebagian aspek, ialah :


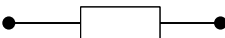

- Jenis materi– sampelnya tembaga mempunyai angka ketahanan yang lebih kecil dibanding dengan baja.
- Suhu– harga resistansi hendak bertambah bersamaan dengan melonjaknya temperatur pada penghantar.
- Panjang penghantar – terus menjadi berjarak sesuatu penghantar, terus menjadi besar pula angka resistansinya.
- Luas penampang – semakin kecil penampang sesuatu penghantar, terus menjadi besar pula angka resistansinya.

Bagian elektronik yang berperan sebagai penghalang arus listrik ialah resistor. Resistor dalam sesuatu susunan elektronika bisa berperan buat membatasi ataupun kurangi gerakan arus listrik serta sekalian pula berperan buat merendahkan tingkat tekanan listrik di dalam susunan. Resistor ataupun halangan disingkat dengan huruf R dengan satuan Ohm ( $\Omega$ ) ini diperoleh dari julukan penemunya ialah Georg Simon Ohm yang pula ialah seseorang fisikawan Jerman.

Pada umumnya, resistor bisa diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, antara lain *fixed resistor*, *variable resistor*, *thermistor*, serta LDR.

*Fixed resistor* merupakan tipe resistor yang mempunyai angka resistansi tetap. Angka ketahanan ataupun halangan resistor ini umumnya diisyarat dengan isyarat warna atau petunjuk nilai. Adapun bentuk dan simbolnya seperti pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Bentuk dan Simbol *Fixed Resistor*

Simbol	Bentuk <i>Fixed Resistor</i>
 Atau 	

Yang termasuk kategori dalam jenis *fixed resistor* bersumber pada aransemen materi pembuatnya antara lain yaitu :

### **6.3.1 Carbon Composition Resistor (Resistor Komposisi Karbon)**

Resistor tipe *carbon composition* ini dibuat dari aransemen karbonium lembut yang dicampur dengan materi pengasingan serbuk bagaikan pengikatnya (binder) supaya memperoleh angka ketahanan yang diidamkan. Terus menjadi banyak materi karbonnya terus menjadi kecil pula angka ketahanan ataupun angka hambatannya. Angka ketahanan yang kerap ditemui di pasaran buat resistor tipe *carbon composition resistor* ini umumnya berkisar dari  $1\Omega$  hingga  $200\text{ M}\Omega$  dengan daya  $0,1\text{ W}$  hingga  $2\text{ W}$ .

### **6.3.2 Carbon Film Resistor (Resistor Film Karbon)**

Resistor tipe *carbon film* ini terdiri dari film pipih karbonium yang diendapkan subtrat isolator yang dipotong berupa lilitan. Angka resistansinya terkait pada rasio karbonium serta isolator. Terus menjadi banyak materi karbonnya terus menjadi sedikit pula angka resistansinya. Manfaat *carbon film resistor* ini merupakan bisa menciptakan resistor dengan keterbukaan yang lebih kecil serta pula rendahnya sensibilitas kepada temperatur bila dibanding dengan *carbon composition resistor*. Angka ketahanan *carbon film resistor* yang ada di pasaran umumnya berkisar diantara  $1\Omega$  hingga  $10\text{ M}\Omega$  dengan energi  $1$  atau  $6\text{ W}$  sampai  $5\text{ W}$ . Sebab rendahnya sensibilitas kepada temperatur, *carbon film resistor* bisa bertugas di temperatur yang berkisar dari  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai  $155^{\circ}\text{C}$ .

### **6.3.3 Metal Film Resistor (Resistor Film Logam)**

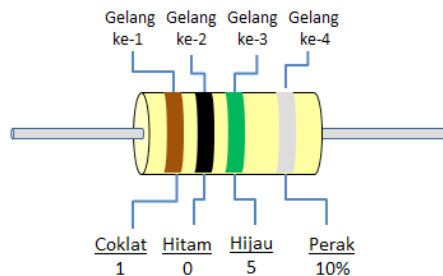
Logam *film resistor* merupakan tipe resistor yang dilapisi dengan film metal yang pipih ke subtrat keramik serta dipotong berupa lilitan. Angka resistansinya dipengaruhi oleh jauh, lebar, serta ketebalan lilitan metal. Dengan cara totalitas, resistor tipe logam film ini ialah yang terbaik diantara tipe-tipe resistor yang ada (*carbon composition resistor* serta *carbon film resistor*).

Metode membilang angka resistor bersumber pada tanda warna serupa yang disebut tadinya, angka resistor yang berupa axial diwakili oleh motif yang ada di badan (*body*) resistor itu sendiri dalam struktur gelang. Biasanya ada 4 gelang di badan resistor, namun terdapat pula yang 5 gelang. Gelang warna emas serta perak umumnya berada kira-kira jauh dari gelang warna yang lain selaku ciri gelang terakhir. Gelang terakhirnya ini ialah angka toleransi pada angka resistor yang berkaitan. Sebagai contoh untuk mengetahui besarnya hambatan seperti pada Tabel 6.2 di bawah ini.

Tabel 6.2 Resistor warna gelang

WARNA	GELANG 1	GELANG 2	GELANG 3	PENGALI	TOLERANSI
HITAM	0	0	0	1	
COKLAT	1	1	1	$10^1$	+/- 1%
MERAH	2	2	2	$10^2$	+/- 2%
JINGGA	3	3	3	$10^3$	
KUNING	4	4	4	$10^4$	
HIJAU	5	5	5	$10^5$	+/- 0,5%
BIRU	6	6	6	$10^6$	+/- 0,25%
UNGU	7	7	7	$10^7$	+/- 0,1%
ABU-ABU	8	8	8		+/- 0,05%
PUTIH	9	9	9		
EMAS				$10^{-1}$	+/- 5%
PERAK				$10^{-2}$	+/- 10%
TANPA WARNA					+/- 20%

Resistor dengan 4 Gelang



Gambar 6.7. Resistor 4 Gelang

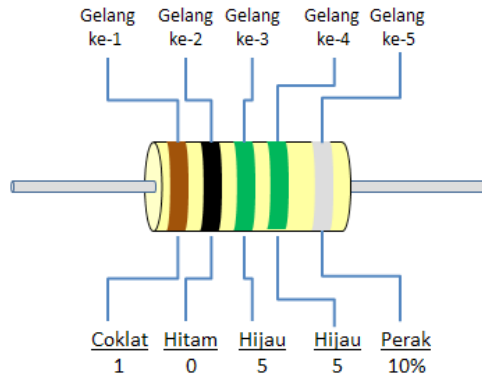
Gelang ke 1 (Coklat) = 1

Gelang ke 2 (Hitam) = 0

Gelang ke 3 (Hijau) = 5 (Banyaknya Nol/Eksponensial)

Gelang ke 4 (Perak) = Toleransi 10%

Jadi, nilai resistor tersebut adalah  $10 \times 10^5 = 1.000.000 \text{ Ohm}$  atau  $1 \text{ MOhm}$  dengan toleransi  $10\%$ .



Gambar 6.8. Resistor 5 Gelang

Gelang ke 1 : Coklat = 1

Gelang ke 2 : Hitam = 0

Gelang ke 3 : Hijau = 5

Gelang ke 4 : Hijau = 5 (nol dibelakang angka gelang ke 2; atau kalikan  $10^5$ )

Gelang ke 5 : Perak = Toleransi  $10\%$

Maka nilai resistor tersebut adalah  $105 \times 10^5 = 10.500.000 \text{ Ohm}$  atau  $10,5 \text{ MOhm}$  dengan toleransi  $10\%$ .

## 6.4 Kesimpulan

Arus yang masuk pada suatu titik bagian sesuai dengan arus yang pergi dari titik bagian itu dan apabila angka hambatan terus menjadi besar menyebabkan arus yang melewati akan menjadi kecil.

## Daftar Pustaka

- Cohen, E.R., Lide, D.R., Trigg, G.L. (Eds.), 2003. AIP physics desk reference, 3rd ed. ed. Springer, New York.
- Franceschetti, D.R., Salem Press, Grey House Publishing, Inc (Eds.), 2016. Principles of physics, First edition. ed. Salem Press/EBSCO Information Services, Inc.; Grey House Publishing, Ipswich, Massachusetts: Amenia, New York.



- Longair, M.S., 2020. Theoretical Concepts in Physics: An Alternative View of Theoretical Reasoning in Physics, 3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/9781108613927>
- Schiller, C., 2020. Motion Mountain - The Adventure of Physics. Motion Mountain Physikverein.
- Woan, G., 2000. The Cambridge Handbook of Physics Formulas. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511755828>

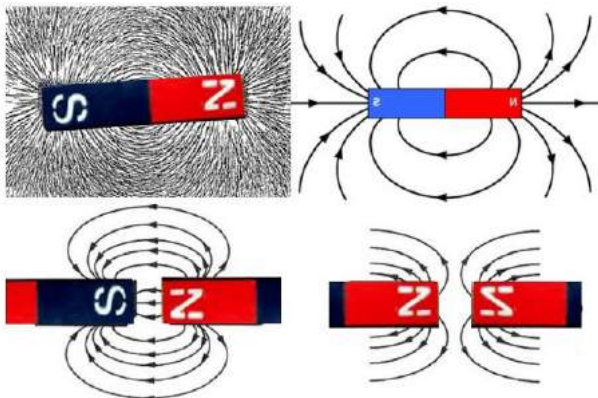
## BAB 7

# MEDAN MAGNET

**Juarni Siregar**  
STMIK Nusa Mandiri  
juarni.jsr@nusamandiri.ac.id

### 7.1 Pendahuluan

Medan magnet adalah wilayah di sekitar magnet yang mempengaruhi objek eksternal. Area di sekitar medan magnet membentuk pola yang teratur. Pola ini dapat dilihat dengan menaburkan serbuk besi pada selembar kertas putih yang diletakkan di atas batang magnet (Forrest M. Mims, 1998).



Gambar 7.1 Medan Magnet (Dewey John, 2019)

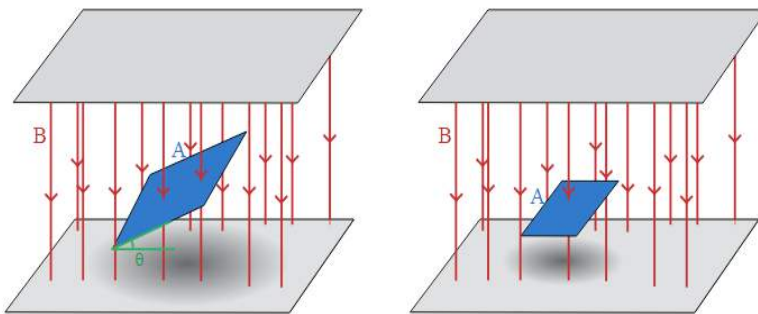
Di sekitar sebuah magnet akan menghasilkan medan magnet dengan sifat-sifat seperti di bawah ini:

1. Arah medan magnet akan sama dengan garis gaya magnet
2. Besarnya medan magnet akan sebanding dengan kecepatan garis gaya magnet.

## 7.2 Flux Magnet

Flux magnet merupakan pengukuran medan magnet total yang melewati bidang tertentu. Flux magnet adalah alat yang berguna untuk membantu menggambarkan efek dari gaya magnet pada suatu bidang tertentu. Bidang tertentu yang dipilih akan berkaitan dengan pengukuran flux magnet. Kita dapat memilihnya untuk membuat ukuran apa pun yang kita inginkan dengan cara apa pun relatif terhadap medan magnet (Academy, 2016).

Jika ada permukaan bidang datar dengan luas penampang  $A$  sebagai area pengujian, maka banyaknya garis-garis medan magnet  $B$  yang menembus bidang  $A$  secara tegak lurus dapat menghasilkan flux magnet ( $\phi$ ).



Gambar 7.2 Flux Magnet (Academy, 2016)

Pada umumnya flux magnet dapat dihitung dengan menggunakan Vektor.

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad \text{atau} \quad \phi = BA \cos \theta$$

Jika flux magnetik melewati kumparan, maka:

$$\phi = NBA \cos \theta$$

dengan:

$\Phi$  = Flux magnetic (Weber)

$A$  = Luas penampang bidang ( $\text{m}^2$ )

$B$  = Induksi Magnetik ( T atau  $\text{Wb}/\text{m}^2$ )

$\theta$  = Sudut antara arah  $B$  dengan garis normal bidang ( $^\circ$ )

$N$  = Jumlah lilitan

Dalam sistem Meter Kilogram Sekon (MKS) satuan flux magnet( $\Phi$ ) adalah weber (W) atau tesla (T) dan satuan Induksi Magnet (B) adalah Tesla (T) atau  $\text{Wb/m}^2$ . Sedangkan dalam sistem Centimeter Gram Second (CGS) satuan flux magnet( $\Phi$ ) adalah Maxwell (M) dan satuan Induksi Magnet (B) adalah Maxwell/ $\text{cm}^2$  atau disebut juga dengan nama Gaus (G).

### Contoh Soal 7.1

Jika permukaan plat biru seperti pada gambar memiliki luas yang sama dan memiliki sudut tetha ( $\theta$ ) sebesar  $30^\circ$ . Berapa kecil flux magnet yang melewati area seperti yang terlihat pada Gambar 7.1. Bandingkan gambar kiri vs kanan!

#### Penyelesaian:

Dilihat dari persamaan flux magnet yang melalui permukaan plat. Dapat kita ketahui jika luas area dan bidang tetap sama, maka satu-satunya faktor pembeda yang tersisa adalah sudut. Dalam hal ini diagram menunjukkan sudut antara normal ke medan magnet dan permukaan plat biru. Ini sama dengan sudut antara medan magnet dan vektor normal ke permukaan plat biru. Sehingga:

$$\cos 30^\circ \simeq \mu 0.86$$

Jadi, flux magnetik yang melalui area plat miring sekitar 8,6 % lebih kecil dari pada melalui area plat normal ke medan magnet.

### Contoh Soal 7.2

Medan magnet yang sama besarnya 2500G membentuk sudut  $25^\circ$  dengan sumbu kumparan melingkar dan terdiri dari 350 lilitan yang jari-jarinya 5 cm. Hitunglah flux magnetik yang melalui kumparan ini!

#### Penyelesaian:

$$1 \text{ wb} = 1 \text{ T.m}^2$$

$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ G}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang bidang (A)} &= \pi r^2 \\ &= (3.14).(0.05 \text{ m})^2 \\ &= 0.0075 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi, besar flux magnet } (\phi) &= NBA \cos \theta \\
 &= (350).(0.25 \text{ T}).(0.0075 \text{ m}^2).(0.91) \\
 &= 0.597 \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

### 7.3 Induksi Magnet

Induksi magnetik atau kuat medan magnet adalah jika pada suatu titik memiliki medan magnet yang muatannya bergerak pada titik tersebut mengalami gaya magnet. Dapat di gambarkan sebagai garis-garis yang memiliki arah singgung di setiap titik yang ditunjukkan arah vector induksi magnet di titik-titik tersebut (Ardra.biz, 2019).

Dapat dirumuskan sebagai berikut:

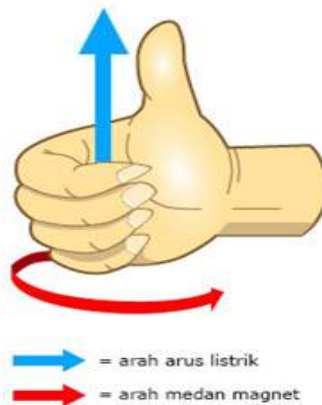
$$B = \frac{d\phi}{dA}$$

dengan:

$\phi$  = Flux magnetic ( Weber)

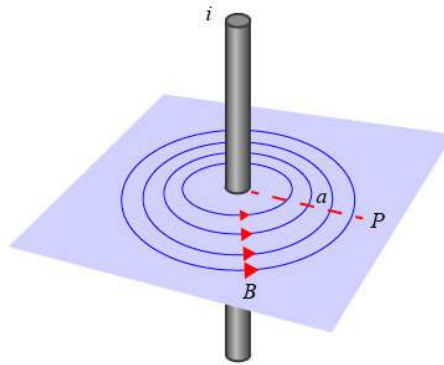
A = Luas penampang bidang ( $\text{m}^2$ )

Arah induksi magnet dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan.



Gambar 7.3 Aturan tangan kanan (Sumberbelajar.belajar.kemdikbud, 2015)

### 7.3.1 Induksi Magnet pada Kawat Berarus Listrik



Gambar 7.4 Arah Medan dan Arus Kawat Lurus (Sumberbelajar. belajar.kemdikbud, 2015)

Untuk menghitung besarnya medan magnet di sekitar arus listrik dengan menggunakan Hukum Biosavart sebagai berikut:

1. Kawat lurus sangat panjang

$$B = \frac{\mu_o \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

2. Kawat lurus dengan panjang tertentu

$$B = \frac{\mu_o \cdot i}{4 \cdot \pi \cdot a}$$

dengan:

$B$  = Induksi Magnetik (T atau Wb/m<sup>2</sup>)

$\mu_o$  = Permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  T.m/A

$a$  = Jarak titik P ke kawat (m)

$i$  = Kuat arus Listrik (A)

#### Contoh Soal 7.3

Berapakah besarnya induksi magnet ( $B$ ) di suatu titik yang berjarak 4 cm dari kawat lurus panjang yang berarus listrik 50A?

**Penyelesaian:**

$$\text{Besarnya induksi magnet (B)} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 50}{4 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} = 12.5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

### 7.3.2 Induksi Magnet pada Kawat Melingkar Berarus

1. Pada pusat kawat melingkar

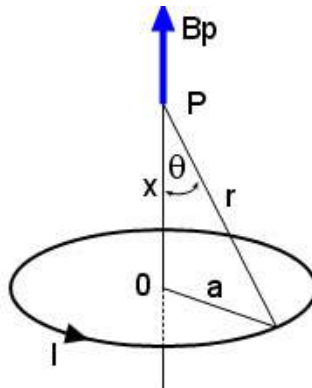
$$B = \frac{\mu_o \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

2. Pada sumbunya, di luar lingkaran

$$B = \frac{\mu_o \cdot i a^2}{2 \cdot \pi^3}$$

#### Contoh Soal 7.4

Sebuah kawat melingkar yang dialiri arus listrik sebesar 4A. Memiliki jari-jari lingkaran 8cm dan jarak titik P terhadap sumbu kawat melingkar adalah 5cm. Tentukan besar medan magnet pada pusat kawat melingkar?



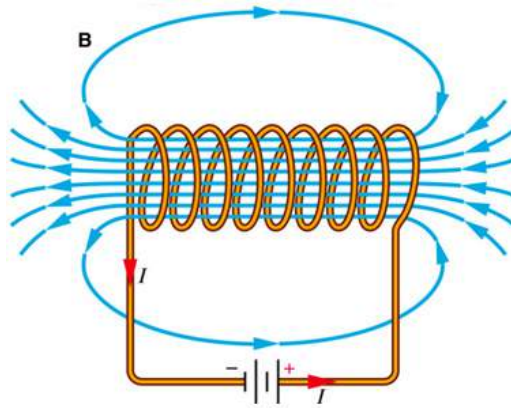
#### Penyelesaian:

Induksi magnet pada pusat,  $B = \frac{\mu_o \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot a}$

$$\begin{aligned} B &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 10^{-2}} \\ &= 10^{-5} \text{T} \end{aligned}$$

### 7.3.3 Induksi Magnet Pada Selenoida Berarus

Selenoida adalah kumparan kawat berbentuk pegas. Panjang dari selenoida dianggap tak terhingga seperti Gambar 7.5 ilustrasi di bawah ini.



Gambar 7.5 Selenoida dan pola medan magnet yang dihasilkan(Elektronika, 2019)

Medan magnet yang dihasilkan oleh sebuah kumparan yang dialiri arus listrik lebih kuat daripada medan magnet yang dihasilkan oleh sebuah lingkaran. Spektrum magnet yang dihasilkan sebuah selenoid sama dengan spektrum yang di hasilkan sebuah magnet batang. Besarnya Induksi Magnet memenuhi persamaan di bawah ini:

1. Pada sumbu kumparan

$$B = \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{\ell}$$

2. Pada salah satu ujung

$$B = \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{2\ell}$$

### Contoh Soal 7.5

Sebuah kumparan melingkar datar memiliki 20 lilitan dan jari-jarinya 8 cm. Berapa besar arus listrik yang dialirkan melalui kumparan tersebut untuk menghasilkan Induksi magnet sebesar  $5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$  pada pusatnya?

#### Penyelesaian:

$$N = 20$$

$$\ell = 8 \text{ cm} = 0.08 \text{ m}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$



$$B = \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{\ell}$$

Besarnya arus listrik yang di alirkan melalui kumparan (i)

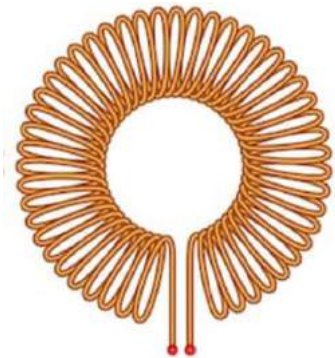
$$i = \frac{B \cdot \ell}{\mu_o \cdot N}$$

$$i = \frac{8 \cdot 10^{-2} 5 \cdot 10^{-4}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20}$$

$$i = 1.6 \text{ A}$$

### 7.3.4 Induksi Magnet Pada Toroida Berarus

Toroida merupakan selenoide panjang yang dilengkungkan sehingga membentuk lingkaran.



Gambar 7.6 induksi Magnet Toroida (Ardra.biz, 2019)

Induksi magnetik tetap berada didalam toroida dan besarnya dapat di ketahui dengan persamaan berikut:

$$B = \mu_o \cdot i \cdot n; \quad n = \frac{N}{\ell} \text{ atau } B = \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

dengan:

$n$  = rapat lilitan

$N$  = jumlah lilitan

$\ell$  = keliling lingkaran toroida (m)

$a$  = jari-jari lingkaran totoida (m)

**Contoh Soal 7.6**

Sebuah toroida yang memiliki jari-jari 25cm dialiri arus sebesar 0.9 A. Jika toroida memiliki 60 lilitan. Berapakah besar induksi magnetik pada toroida tersebut?

**Penyelesaian:**

$$a = 25\text{cm}=0.25\text{m}$$

$$I = 0.9\text{A}$$

$$N = 60$$

$$\begin{aligned}\text{Besarnya induksi magnetik, } B &= \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} \\ &= \frac{4\pi 10^{-7} \cdot (0.9) \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot (0.25)} \\ &= 4.32 \times 10^{-5} \text{ T}\end{aligned}$$

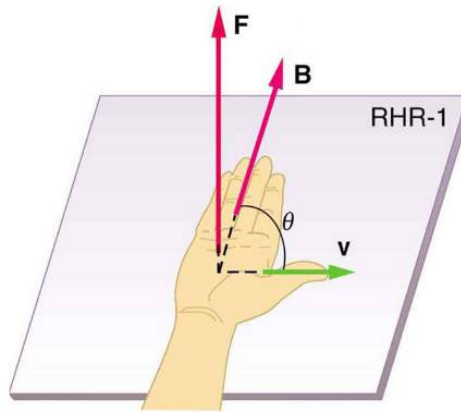
**7.4 Gaya Magnetik**

Jika dua benda mengandung dua muatan yang sama dan memiliki arah pergerakan yang sama, maka akan memiliki gaya tarik magnet di antara keduanya. Demikian pula, objek yang memiliki dua muatan yang bergerak berlawanan arah memiliki gaya tolak antara mereka. Dalam medan magnet kita belajar bagaimana muatan mengelilingi dirinya dengan medan magnet. Dalam hal ini gaya magnet adalah gaya yang dihasilkan akibat interaksi medan magnet. Jika sebuah magnet batang digantung pada seutas tali, salah satu ujungnya akan mengarah ke utara. Ujungnya adalah kutub utara magnet. Ujung magnet yang menunjuk ke selatan adalah kutub selatan.

**7.4.1 Pada Magnet Permanen**

Bumi juga memiliki kutub magnet. Kutub magnet tidak cocok dengan kutub geografis. Kutub magnet paling utara adalah teluk Hudson Kanada Utara. Kutub magnet paling selatan adalah Antartika Selatan Tasmania. Kutub utara akan ditolak, sedangkan kutub selatan ditarik.

### 7.4.2 Pada Muatan Listrik Bergerak



Gambar 7.7 Aturan tangan kanan: medan magnet memberikan gaya pada muatan bergerak (Lumen candella, n.d.)

$$F = qvB \sin \theta$$

dengan:

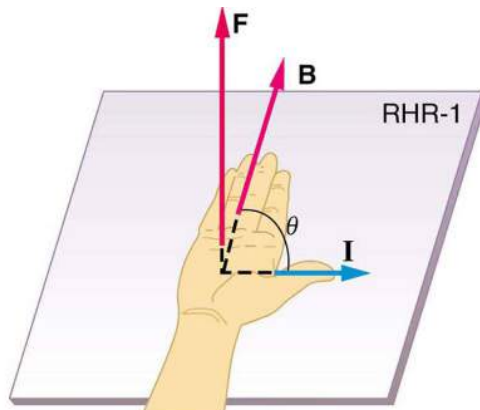
$F$  = gaya magnet (N)

$q$  = muatan listrik (C)

$v$  = kecepatan partikel (m/s)

$B$  = induksi magnet ( T atau Wb/m<sup>2</sup>)

### 7.4.3 Pada Kawat Listrik Bergerak



Gambar 7.8 Aturan tangan kanan: menentukan arah gaya magnet (Lumen candella, n.d.)

$$F = ILB \sin \theta$$

dengan:

$F$  = gaya magnet (N)

$L$  = panjang kawat (m)

$I$  = arus (A)

$B$  = induksi magnet (T atau  $\text{Wb/m}^2$ )

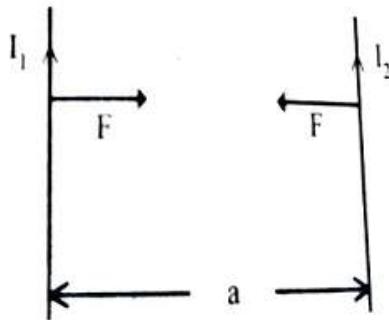
#### 7.4.4 Pada Kumparan Berarus

Bila sebuah kumparan tipis yang mempunyai luas  $A$  terdiri dari  $N$  lilitan dan berarus  $I$  terletak dalam medan magnet homogen  $B$ , dan bidang kumparan membentuk sudut  $\theta$  terhadap  $B$ , akan timbul momen kopel sebesar:

$$\lambda = NABI \cos \theta$$

#### 7.4.5 Pada Interaksi Kawat Sejajar

1. Kawat sangat panjang
2. Arusnya searah: tarik menarik  
Arusnya berlawanan: tolak-menolak
3. Gaya tolak /tarik persatuan panjang .

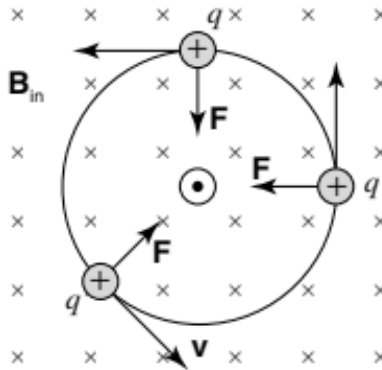


Gambar 7.9 Gaya pada interaksi kawat sejajar (Primagama, 2019)

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_o \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi a}$$

### 7.4.6 Pada Lintasan Muatan Listrik dalam Medan Magnet Homogen

1. Jika  $v \parallel B$  ( $v$  = kecepatan partikel); gerak lurus
2. Jika  $v \perp B$  : lintasan melingkar



Gambar 7.6 Gaya Muatan Listrik bergerak tegak lurus terhadap Magnet (Adams, 2001)

$$F = \frac{mv^2}{a} = q \cdot v \cdot B \qquad a = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Periode waktu (T)

$$T = \frac{2\pi a}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

dengan:

$T$  = periode waktu (s)

$m$  = massa (kg)

$v$  = kecepatan partikel (m/s)

$a$  = jari-jari (m)

#### Contoh Soal 7.7

Proton bermassa  $m = 1.67 \times 10^{-27}$  kg dengan muatan  $q = 1.6 \times 10^{19}$  C bergerak dalam lingkaran yang berjari-jari 21cm  $\perp$  medan magnet  $B = 4000$ G. Tentukan:

1. Periode
2. Kecepatan proton

**Penyelesaian:**

1. Periode bergerak konvensional medan magnet ( $B$ ) = 4000G=0.4T

2. 
$$T = \frac{2\pi m}{qB} = 1.64 \times 10^{-7} \text{ s}$$

$$v = \frac{aqB}{m} = 8.05 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Jari-jari proton

$$a = \frac{2vT}{2\pi} = 21 \text{ cm}$$

**Daftar Pustaka**

- Academy, K. (2016). what is Magnetic Flux. Retrieved from <https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-magnetic-flux>
- Adams, L. H. S. (2001). *Cliffs Quick Review Physisc*. (Tracy Bar, Ed.). New York: Hungry Minds, inc.
- Ardra.biz. (2019). Induksi Medan Magnet. Retrieved from <https://ardra.biz/tag/pengertian-induksi-medan-magnet/>
- Dewey John. (2019). Medan Magnet. Retrieved June 12, 2020, from <https://www.silabus.web.id/medan-magnet/>
- Elektronika, S. (2019). Pengertian, Jenis, Cara Kerja dan Penggunaan Selenoida. Retrieved from <http://www.webstudi.site>
- Forrest M. Mims. (1998). *Engineer's Mini-Notebook Magnet and Sensor Project* (1st ed.). Forrest M. Mims III. Retrieved from <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=5FA6E79C-0758001C0880C265A6897CC5>
- Lumen candella. (n.d.). Motion of a Charged Particle in a Magnetic Field. Retrieved from <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/motion-of-a-charged-particle-in-a-magnetic-field/>
- Primagama. (2019). *Master Book SMA Fisika*. Yogyakarta: PT. Prima Edu Bimbingan Belajar. Retrieved from EMS.PRIMAGAMA.CO.ID
- Sumberbelajar.belajar.kemdikbud. (2015). Medan Magnetik. Retrieved from <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Medan-Magnetik-2015/konten5.html>

# BAB 8

## FLUIDA

**Ahmad Yani**

Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang  
yanibima@gmail.com

### 8.1 Pendahuluan

Salah satu pertanyaan yang pertama-tama perlu kita kaji adalah, apakah fluida itu? atau mungkin bertanya, apa perbedaan antara sebuah benda padat dengan sebuah fluida? Meskipun perbedaan antara benda padat dan fluida dapat dijelaskan secara kualitatif berdasarkan struktur molekulnya, pembedaan yang lebih spesifik didasarkan pada bagian zat tersebut berdeformasi di bawah suatu beban luar yang bekerja. Fluida adalah suatu zat yang mampu mengalir dan mampu menyesuaikan dengan bentuk tempatnya atau salurannya. Bila berada dalam kesetimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya geser atau gaya tangensial. Semua fluida mempunyai tingkat kompresibilitas dan memberikan tahanan kecil terhadap perubahan bentuk. Sedangkan fluida secara umum dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Fluida *compressible* (fluida yang dapat ditekan)
- b. Fluida *incompressible* (fluida yang tak dapat ditekan)

Contoh dari fluida incompressible adalah: air, minyak, gliserin (air gula), madu, dan lain-lainnya, sedangkan contoh dari fluida *compressible* adalah : udara, gas, uap, asap dan lain-lainnya.

### 8.2 Sifat - Sifat Fluida

#### 8.2.1 Kerapatan Massa Zat ( $\rho$ )

Kerapatan massa atau massa jenis suatu zat adalah massa dari fluida per satuan volume dari zat tersebut. Untuk zat cair kerapatan massa suatu zat bisa dianggap konstan untuk perubahan-perubahan tekanan praktis. Kerapatan massa air adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$  pada suhu

4 °C (Bruce R. Munson, Donalf F. Young, 2004).

### 8.2.2 Berat Jenis ( $\gamma$ )

Berat jenis suatu zat adalah berat fluida per satu satuan volume zat tersebut. Hubungan antara kerapatan massa ( $\rho$ ) dan berat jenis ( $\gamma$ ) adalah (Bruce R. Munson, Donalf F. Young, 2004):

dengan :

$$\begin{aligned}(\rho)_{\text{air}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g &= \text{gravitasi } (9,81 \text{ m}^2/\text{dtk}) \\ (\gamma)_{\text{air}} &= \text{berat jenis } (9,81 \times 1000) \\ &= 9810 \text{ N/m}^3 \text{ (jika } g \text{ diambil } 9,81 \text{ m}^2/\text{dtk})\end{aligned}$$

Rapat massa gas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan gas ideal.

$$p \cdot V_s = R \cdot T \quad (8.1)$$

dengan :

$$\begin{aligned}p &= \text{tekanan mutlak dalam pascal} \\ V_s &= \text{volume spesifik/satuan massa (m}^3/\text{kg)} \\ T &= \text{suhu mutlak dalam derajat kelvin (}^\circ\text{K)} (273 + \text{derajat Celcius)} \\ R &= \text{konstanta gas (J/kg.K)}\end{aligned}$$

Karena  $\rho = \frac{1}{V_s}$ , maka persamaan (8.1) menjadi:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad (8.2)$$

### Contoh Soal 8.1

Hitunglah kerapatan massa dan volume spesifik dari gas metana, dimana tekanan mutlak pada suhu 40 °C sebesar 8,3 bar!

#### Penyelesaian:

Dari sifat pendekatan dari beberapa gas didapat konstanta gas metana ( $R$ ) = 518,5 J/kg K

$$\text{Kerapatan massa } \rho = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{8,3 \times 10^5}{518,5 \times (273 + 40)} = 5,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume spesifik } v_s = 1/\rho = 1/5,1 = 0,196 \text{ m}^3/\text{kg}$$



### 8.2.3 Kerapatan Relatif

Kerapatan relatif atau rapat relatif suatu benda adalah bilangan murni yang menunjukkan perbandingan antara massa suatu benda dengan massa suatu zat yang bervolume sama yang digunakan sebagai patokan. Untuk zat padat atau zat cair menggunakan patokan air pada suhu 4 °C, sedangkan untuk gas menggunakan udara bebas yang mengandung CO<sub>2</sub> atau hidrogen (pada suhu 0°C dan tekanan 1 atmosfer = 1,013 x 10<sup>5</sup> Pa) sebagai pedoman atau patokan (Bruce R. Munson, Donalf F. Young, 2004).

$$\begin{aligned}\text{Kerapatan relatif zat cair} &= \frac{\text{massa zat tersebut}}{\text{massa air bervolume sama}} & (8.3) \\ &= \frac{\text{kerapatan massa zat}}{\text{kerapatan massa zat air}} \\ &= \frac{\text{berat jenis zat}}{\text{berat jenis zat air}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerapatan relatif zat gas} &= \frac{\text{massa gas tersebut}}{\text{massa udara bervolume sama}} & (8.4) \\ &= \frac{\text{kerapatan massa gas}}{\text{kerapatan massa udara}} \\ &= \frac{\text{berat jenis gas}}{\text{berat jenis udara}}\end{aligned}$$

Syarat untuk gas :

Temperatur gas = temperatur udara dan

Tekanan gas = tekanan udara

Misal: jika kerapatan relatif minyak 0,875, maka kerapatan massanya adalah 0,875 . 1000 = 875 kg/m<sup>3</sup>.

Rapat relatif air adalah 1,00 dan air raksa 13,6 lihat tabel : Berat spesifik dan kekentalan kinematik beberapa cairan tertentu.

### Contoh Soal 8.2

Hitunglah kerapatan massa dan rapat relatif dari 5,6 m<sup>3</sup> minyak yang beratnya 46800 N.

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis minyak: } \gamma_{\text{minyak}} &= \rho \times g = \frac{\text{berat}}{\text{volume}} \\ &= \frac{46800}{5,6} = 8357,1 \text{ N/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kerapatan massa: } \rho_{\text{minyak}} &= \frac{\gamma_{\text{minyak}}}{g} \\ &= \frac{8357,14}{9,81} = 851,9 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Rapat relatif: } \text{rpl} = \frac{\rho_{\text{minyak}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{851,9}{1000} = 0,8519$$

**8.2.4 Viscositas (Kekentalan) Suatu Fluida**

Kekentalan atau viscositas suatu fluida adalah sifat yang menentukan besarnya daya tahan terhadap gaya geser yang terjadi. Kekentalan disebabkan oleh saling terpengaruh antara molekul-molekul suatu fluida. Kekentalan atau viscositas cairan akan berkurang dengan bertambahnya temperatur, tetapi tidak banyak dipengaruhi oleh perubahan tekanan. Karena kerapatan massa gas berubah bersama perubahan tekanan (suhu tetap). Kekentalan kinematik berubah-ubah bersama tekanan secara berlawanan. Sehingga kekentalan dapat dibedakan menjadi dua yaitu (Ghurri, 2014):

1. Kekentalan kinematik
2. Kekentalan dinamik (mutlak)

Koefisien kekentalan yang lain adalah kekentalan kinematis, dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Kekentalan kinematis } n(nu) = \frac{\text{kekentalan mutlak } (\mu)}{\text{kerapatan massa } (\rho)} \quad (8.5)$$

atau

$$n(nu) = \frac{\mu}{\rho} \quad (8.5a)$$

$$\text{Satuan } n(nu) = \frac{\text{m}}{\text{dtk}} \text{ sebab } \frac{\text{Pa} \cdot \text{dtk}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{kg/m} \cdot \text{dtk}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{dtk}}$$

$\tau = F/A =$  tegangan geser. Jika suatu tetapan kesebandingan  $\mu$  (miu) yang disebut kekentalan mutlak atau kekentalan dinamik, dimasukkan maka (Ghurri, 2014):

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \text{ atau } \mu = \frac{\tau}{dv/dy} \quad (8.6)$$

Satuan  $\mu$  (miu) atau kekentalan mutlak (viscositas dinamik) adalah Pa dtk, karena

$$\text{Pa. dtk} = \frac{\text{Pa}}{(\frac{\text{m}}{\text{dtk}})/\text{m}}$$

### Contoh Soal 8.3

Kekentalan air pada suhu 10 °C besarnya 0,125 poise.

Ditanya :

- Hitung kekentalan mutlak dalam Pa dtk
- Hitung kekentalan kinematik dalam satuan  $\text{m}^2/\text{dtk}$  jika, rapat relatif pada suhu 10 °C sebesar 0,999.

#### Penyelesaian:

Poise diukur dalam dyne dtk/ $\text{cm}^2$ .

Karena 1 dyne = 1 g.cm/dtk<sup>2</sup> = 10<sup>-5</sup> N maka:

$$1 \text{ poise} = \frac{\text{N. dtk}}{(10^{-2})^{-2}} = \frac{\text{N. dtk}}{10^{-4}} = 10^{-1} \text{ Pa dtk}$$

$$1 \text{ pose} = 0,1 \text{ Pa.dtk}$$

- $\mu$  (miu) atau kekentalan dinamik adalah

$$\mu = \frac{0,125}{10} = 1,25 \times 10^{-2} \text{ Pa dtk}$$

- $n$  (nu) atau kekentalan kinematik adalah

$$n = \frac{\mu}{\rho} \text{ dalam } (\text{m}^2/\text{dtk})$$

$$n = \frac{1,25 \times 10^{-2} \text{ Pa dtk}}{0,999 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 1,25125 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{dtk}$$

### 8.2.5 Tekanan Fluida

Tekanan fluida dipancarkan ke segala arah dengan kekuatan sama dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Pada bidang yang sama tekanan dalam suatu cairan sama pula. Pengukuran suatu tekanan dapat dilakukan dengan berbagai bentuk macam alat ukur tekanan (Ghurri, 2014).

Tekanan absolut tergantung pada tekanan pengukuran dari suatu sistem tersebut. Bila tekanan ukur (pengukuran) atau *Gauge pressure* dari suatu sistem di atas tekanan atmosfer maka :

Tekanan absolut = tekanan pengukuran + tekanan atmosfer

Bila tekanan ukur (pengukuran) atau *Gauge pressure* dari suatu sistem di bawah tekanan atmosfer maka :

Tekanan absolut = tekanan atmosfer – tekanan pengukuran

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada keterangan sebagai berikut ini :

$P_a$  = Tekanan absolut

$P_g$  = Tekanan pengukuran (ukur)

$P_v$  = Tekanan pengukuran negatif (vakum)

Satuan tekanan :

Tekanan adalah gaya dibagi luas penampang (pada umumnya)

$$\text{Tekanan} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas permukaan}} \quad (8.7)$$

Untuk keadaan di mana  $F$  terdistribusi merata di atas suatu luas, dapat kita peroleh :

$$P(\text{Pa}) = \frac{F(\text{N})}{A(\text{m}^2)} \quad (8.7a)$$

$$P(\text{bar}) = \frac{F(\text{N})}{A(\text{m}^2)} \times 10^{-5} \quad (8.8)$$

#### Contoh Soal 8.4

Tentukan tekanan dalam Pa pada suatu kedalaman 6 m di bawah permukaan bebas suatu benda dari air. Jika berat jenis air sebesar  $9810 \text{ N/m}^3$

**Penyelesaian:**

$$P = (\rho \cdot g \cdot h) = 1000 \times 9,81 \times 6 = 58860 \text{ Pa}$$

**Contoh Soal 8.5**

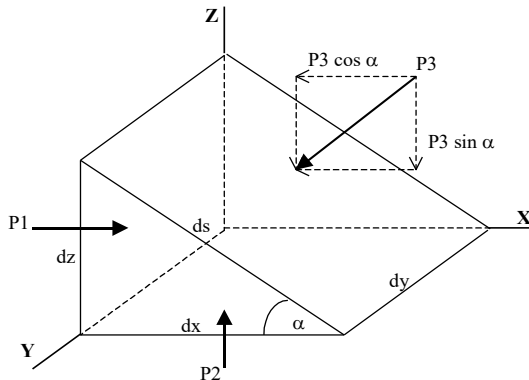
Tentukan tekanan dalam bar pada kedalaman 10 m di dalam minyak yang rapat relatifnya sebesar 0,750.

**Penyelesaian:**

$$\begin{aligned} \text{Tekanan meteran } P' &= \frac{\rho \cdot g \cdot h}{10^{-5}} = \frac{0,75 \times 9810 \times 10}{10^{-5}} \\ &= 0,736 \text{ bar} \end{aligned}$$

**8.3 Statika Fluida****8.3.1 Tekanan Pada Fluida Statik**

Untuk mendapatkan suatu kondisi benda supaya bisa dalam keadaan diam tidak bergerak kesana kemari maka benda tersebut harus mempunyai suatu kesetimbangan tekanan, baik tekanan yang ada pada benda tersebut maupun tekanan yang berasal dari luar benda tersebut atau tekanan yang mengenai benda tersebut.



Gambar 8.2. Variasi Tekanan Dalam Fluida Statis (Ghurri, 2014)

**Arah X :**

$$P1 \cdot dy \cdot dz - P3 \cdot \sin \alpha \cdot ds \cdot dy = 0$$

$$P3 \cdot \sin \alpha \cdot ds \cdot dy = P1 \cdot dy \cdot dz$$

karena :  $\sin \alpha \cdot ds = dz$  maka,

$$P_1 dy dz - P_3 dy dz = 0$$

$$P_1 = P_3 \quad (8.9)$$

**Arah Z :**

$$P_2 dx dy - P_3 \cos \alpha ds dy - \left[ \frac{dx \cdot dy \cdot dz}{2} \right] = 0$$

$$\left[ \frac{dx \cdot dy \cdot dz}{2} \right] = \text{berat benda (diabaikan)}$$

dan  $dx = ds \cos \alpha$  maka :

$$P_2 dx dy - P_3 dx dy = 0$$

sehingga

$$P_2 = P_3 = P_1 \quad (8.10)$$

### 8.3.2 Tekanan Rata-Rata

Pada suatu permukaan dengan luas A didefinisikan sebagai gaya dibagi dengan luas dimana dinyatakan bahwa gaya harus tegak lurus terhadap permukaan (Frederick J. Bueche & Eugene Hecht, 2006).

$$\text{Tekanan rata - rata} = \frac{\text{Gaya normal terhadap permukaan}}{\text{Luas permukaan di mana gaya terdistribusi}} \quad (8.11)$$

atau

$$P = \frac{F}{A} \quad (8.11a)$$

Ingatlah bahwa satuan SI untuk tekanan adalah pascal (Pa), dan 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>.

### Contoh Soal 8.6

Sebuah silinder logam dengan 80 kg, dengan panjang 2,0 m dan luas 25 cm<sup>2</sup> pada kedua ujungnya, berdiri secara vertikal pada satu ujungnya. Berapakah tekanan yang diberikan silinder terhadap lantai?

**Penyelesaian:**

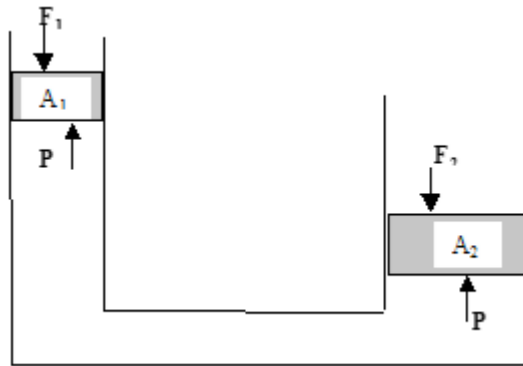
$$P = \frac{\text{Gaya normal}}{\text{Luas}} = \frac{(80 \text{ kg})(9,81 \text{ m/dtk}^2)}{25 \times 10^{-4}} = 3,1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

### 8.3.3 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik ( $P$ ) akibat kolom fluida setinggi  $h$  dan massa jenis  $\rho$  adalah

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (8.12)$$

Prinsip Pascal yaitu ketika tekanan pada bagian mana pun suatu fluida yang tertutup berubah tekanan pada setiap bagian fluida juga berubah dengan jumlah yang sama. Contoh penggunaan Hukum Pascal dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Frederick J. Bueche & Eugene Hecht, 2006).



Gambar 8.3. Ilustasi hukum pascal

Sumber: (Frederick J. Bueche & Eugene Hecht, 2006)

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \leftrightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1 \quad (8.13)$$

Prinsip Archimedes yaitu ketika suatu benda terendam sebagian atau seluruhnya dalam suatu fluida akan mengalami gaya apung ke atas melalui pusat gravitasi fluida yang dipindahkan.

#### Contoh Soal 8.7

Tentukan tekanan akibat fluida pada kedalaman 76 cm dalam (a) air diam ( $\rho_w = 1,00 \text{ g/cm}^3$ ) dan (b) air raksa diam ( $\rho_w = 13,6 \text{ g/cm}^3$ )!

#### Penyelesaian:

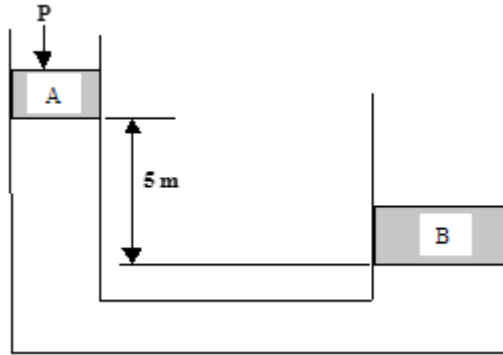
$$\begin{aligned} \text{a. } P &= \rho_w \cdot g \cdot h = (1000 \text{ kg/m}^3)(9,81 \text{ m/dtk}^2)(0,76 \text{ m}) = 7450 \text{ N/m}^2 = \\ &7,5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$b. \quad P = \rho \cdot g \cdot h = (13600 \text{ kg/m}^3)(9,81 \text{ m/dtk}^2)(0,76 \text{ m}) = 1,01 \times 10^5 = 1,0 \text{ atm}$$

### Contoh Soal 8.8

Pada gambar 8.4 luas penghisap A dan silinder B masing-masing  $0,004 \text{ m}^2$  dan  $0,4 \text{ m}^2$ , berat B adalah  $40 \text{ kN}$ . Bejana yang saling berhubungan diisi dengan minyak dengan rapat relatif  $0,750$ . Berapa besar gaya  $P$  yang dibutuhkan untuk mempertahankan keseimbangan, bila berat A diabaikan.

Penyelesaian:



Gambar 8.4. Transmisi tekanan fluida

Sumber: Munson et al, (2004)

$$\text{Tekanan di bawah A} + \text{tekanan 5 m minyak} = \frac{\text{Berat B}}{\text{Luas B}}$$

$$P_A + \rho \cdot g \cdot h = \frac{40 \times 10^3 \text{ N}}{0,4 \text{ m}^2}$$

$$P_A + (0,750 \times 9810)(5) = 10^5 \text{ Pa dan } P_A = 63200 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya P} &= \text{tekanan seragam} \times \text{luas} \\ &= 63200 \text{ Pa} \times 0,004 \text{ m}^2 \\ &= 253 \text{ N} \end{aligned}$$



## 8.4 Dinamika Fluida

### 8.4.1 Persamaan Dasar Aliran Fluida

#### 1. Persamaan Kontinuitas

Sebuah saluran mempunyai dua penampang yang berbeda yaitu  $A_1$  dan  $A_2$ , dimana pada penampang satu ada kecepatan  $v_1$  dan pada penampang dua ada  $v_2$ . Untuk persamaan kontinuitas pada fluida kompresibel adalah  $Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$  atau  $Q = v \cdot A$ . Sedangkan untuk fluida inkompresibel atau fluida cair maka persamaan kontinuitas adalah (Yani, 2017), (Yani, Susanto and Rosmiati, 2018):

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \text{ atau } Q = v \cdot A \quad (8.14)$$

Untuk aliran kompresibel atau fluida yang dapat ditekan (gas), maka persamaan kontinuitas atau massa *flow rate* harus disertakan kerapatan massanya, karena pada fluida kompresibel (gas) perubahan temperatur sedikit saja akan mempengaruhi kerapatan massanya sehingga persamaan kontinuitas atau kapasitas adalah:

$$Q_1 = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 \Rightarrow Q_2 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2 \Rightarrow \text{maka } Q = \rho \cdot v \cdot A \quad (8.15)$$

Tetapi untuk fluida inkompresibel (fluida cair), perubahan temperatur tidak banyak mempengaruhi kerapatan massanya sehingga bisa dianggap konstan.

Persamaan kontinuitas fluida *incompressibel* (fluida cair) sebagai berikut:  $Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$  atau  $Q = v \cdot A$  (Yani, Triyatno and Sobah, 2020), (Yani *et al.*, 2020).

Persamaan kontinuitas fluida *compressibel* (fluida gas) sebagai berikut (Ghurri, 2014):

$$Q_1 = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 \Rightarrow Q_2 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2 \Rightarrow \text{maka } Q = \rho \cdot v \cdot A \quad (8.16)$$

dengan :

$Q$  = kapasitas fluida ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$v$  = kecepatan aliran ( $\text{m}/\text{det}$ )

$A$  = luas penampang saluran ( $\text{m}^2$ )

$\rho$  = kerapatan massa fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

**Contoh Soal 8.9**

Minyak mengalir di dalam sebuah pipa berdiameter 8,0 cm dengan laju rata-rata 4,0 m/dtk. Berapakah debit dalam m<sup>3</sup>/dtk dan m<sup>3</sup>/jam?

**Penyelesaian:**

$$Q = v \cdot A = (4,0 \text{ m}^3/\text{dtk}) \cdot \Pi (0,040 \text{ m})^2 = 0,020 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$= (0,020 \text{ m}^3/\text{dtk}) (3600 \text{ dtk}/\text{jam}) = 72 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Contoh Soal 8.10**

Sebuah pipa induk air leding dengan diameter dalam 14 cm mengalir air melalui pipa-pipa sambungan ke sebuah pipa kran dengan diameter dalam 1,00 cm. jika laju rata-rata dalam pipa kran adalah 3,0 cm/dtk, berapakah laju rata-rata yang disebabkan dalam pipa induk air leding?

**Penyelesaian:**

Kedua debit tersebut adalah setara. Dari persamaan kontinuitas, kita peroleh  $Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$  sehingga diperoleh:

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = v_1 \frac{\Pi r_1^2}{\Pi r_2^2} = (3,0 \text{ cm}/\text{dtk}) \left(\frac{1}{14}\right)^2 = 0,015 \text{ cm}/\text{dtk}$$

**2. Persamaan Bernoulli**

Persamaan Bernoulli selengkapnya adalah:

$$\frac{p}{\rho} + g \cdot z + \frac{v^2}{2} = \text{konstan}$$

$$\frac{p_1}{\rho_1} + g \cdot z_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + g \cdot z_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

$$\frac{p_1}{g \cdot \rho_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{g \cdot \rho_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (8.17)$$

dengan :

$z$  = elevasi (m)

$\gamma$  = berat jenis air (10000 N/m<sup>3</sup>), jika gravitasi diambil 10 m/dtk<sup>2</sup>

$$\frac{p}{\gamma} = \text{head tekanan (m kolom air)}$$

$$\frac{p}{\rho} + g \cdot z + \frac{v^2}{2} = \text{konstan}$$

$$\frac{p_1}{\rho_1} + g \cdot z_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + g \cdot z_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

$$\frac{p_1}{g \cdot \rho_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{g \cdot \rho_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \Rightarrow \frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \text{head kecepatan (m kolom air)}$$

Maka persamaan Bernoulli secara umum adalah:

$$\frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} = \text{konstan} \quad (8.18)$$

Sedangkan persamaan Bernoulli riel adalah:

$$\frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} + HL = \text{konstan} \quad (8.19)$$

dengan :

$HL = \text{head losses (m)}$

$g = \text{kecepatan gravitasi (m/dtk}^2\text{)} = 9,81 \text{ m/dtk}^2$

### Contoh Soal 8.11

Berapa volume air yang akan keluar per menit dari dalam sebuah tangka terbuka melalui sebuah lubang dengan diameter 3,0 cm yang berada 5,0 m di bawah permukaan air di dalam tangka?

#### Penyelesaian:

Kita dapat menggunakan persamaan Bernoulli, dengan 1 mewakili bagian atas dan 2 mewakili pada lubang keluar air. Tekanan pada saluran adalah tekanan atmosfer. Maka  $P_1 = P_2$  dan  $h_1 = 5,0 \text{ m}$ ,  $h_2 = 0$ .

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2\rho g$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2\rho g$$

Jika tangka besar,  $v_1$  dapat diperkirakan sebagai nol. Maka, dengan menghitung  $v_2$ , kita memperoleh persamaan Torricelli:

$$v_2 = \sqrt{2g (h_1 - h_2)} = \sqrt{2 (9,81 \text{ m/s}^2 (5,0 \text{ m}))} = 9,9 \text{ m/dtk}$$

dan debit ditentukan oleh

$$\begin{aligned} Q &= v_2 \cdot A_2 = (9,9 \text{ m/dtk}) \Pi (1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 = 7,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{dtk} \\ &= 0,42 \text{ m}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

### 3. Persamaan Bilangan Reynold

Untuk menentukan besarnya *head losses* atau kerugian *head*, yaitu dengan cara menentukan tipe alirannya, apakah aliran tersebut laminar atau turbulen, sedangkan tipe aliran tergantung dari besarnya bilangan Reynold (Reynold Number, Re) persamaan dari bilangan Reynold adalah (Supardi, 2015):

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\delta} \quad (8.20)$$

dimana :

$\rho$  = kerapatan massa ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik ( $\text{pa dtk}$ )

$v$  = kecepatan ( $\text{m/det}$ )

$D$  = diameter pipa ( $\text{m}$ )

$\delta$  = viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{dtk}$ )

Untuk aliran laminar dimana  $Re < 2300$ , dan untuk aliran turbulen dimana  $Re > 2300$ . Dari harga bilangan Reynold kita dapat mengetahui seberapa besar kerugian akibat gesekan yang ditimbulkan oleh fluida terhadap saluran atau pipanya.

### Contoh Soal 8.12

Sebuah terowongan uji coba terhadap tekanan udara dan angin akan digunakan dengan sebuah mobil model setinggi 20 cm untuk mendekati situasi di mana sebuah mobil setinggi 550 cm bergerak dengan laju 15 m/dtk. Berapakah seharusnya laju angin di dalam terowongan? Apakah aliran udara kemungkinan bergolak (ada turbulensi)?

### Penyelesaian:

Kita menginginkan bilangan Reynold ( $Re$ ) sama untuk kedua kasus, sehingga situasi-situasi tersebut akan mirip. Dengan kata lain kita menginginkan

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta_{\text{terowongan}}} = \frac{\rho v D}{\eta_{\text{udara}}}$$

Baik  $\rho$  dan  $\eta$  sama dalam kedua kasus, sehingga kita memperoleh

$$v_t D_t = v_u D_u \text{ di mana } v_t = v_a \frac{D_u}{D_t} = \left(15 \frac{\text{m}}{\text{dtk}}\right) \left(\frac{550}{20}\right) = 0,41 \text{ km/dtk}$$

Untuk menyelidiki turbulensi, kita memeriksa  $Re$  dengan menggunakan  $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$  dan  $\eta = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa.dtk}$  untuk udara. Kita mengetahui bahwa  $Re = 5,9 \times 10^6$ , suatu nilai yang jauh melebihi dari yang dibutuhkan untuk aliran udara yang bergolak (ada turbulensi). Aliran sudah pasti turbulensi.

## 8.5 Kesimpulan

Fluida merupakan suatu zat yang mampu mengalir dan mampu menyesuaikan dengan bentuk tempatnya atau salurannya. Fluida dapat dibagi menjadi dua yaitu fluida *compressible* (fluida yang dapat ditekan) dan fluida *incompressible* (fluida yang tak dapat ditekan). Berdasarkan judul bab 8, maka materi yang telah disusun lengkap dengan contoh soal dan pembahasannya yaitu sifat-sifat fluida, statika fluida, dan dinamika fluida.

### Daftar Pustaka

- Bruce R. Munson, Donalf F. Young, T. H. O. (2004) *Mekanika Fluida*. Keempat. Edited by W. Hardani. Jakarta: Erlangga.
- Frederick J. Bueche & Eugene Hecht (2006) *Fisika Universitas*. Edited by Lemeda Simarmata. Jakarta: Erlangga.
- Ghurri, A. (2014) Dasar-Dasar Mekanika Fluida, *Jurnal Dasar-Dasar Mekanika Fluida*.
- Supardi, M. M. R. (2015) Pengaruh Variasi Debit Aliran Dan Pipa Isap (Section) Terhadap Karakteristik Pompa Sentrifugal Yang, *Mekanika Jurnal, Teknik Mesin*,.

- Yani, A. (2017) 'Rancang Bangun Alat Praktikum Turbin Air Dengan Pengujian Bentuk Sudu Terhadap Torsi Dan Daya Turbin Yang Dihasilkan', *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1). doi: 10.24127/trb.v6i1.463.
- Yani, A. *et al.* (2020) 'Shape Analysis of Blade And Number of Blade for Water Turbine Prototype Performance', *International Journal of New Technology and Research*, 6(4), pp. 46–53. doi: 10.31871/ijntr.6.4.22.
- Yani, A., Susanto, B. and Rosmiati, R. (2018) 'Analisis Jumlah Sudu Mangkuk Terhadap Kinerja Turbin Pelton Pada Alat Praktikum Turbin Air', *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 7(2), pp. 185–192. doi: 10.24127/trb.v7i2.805.
- Yani, A., Triyatno, J. and Sobah, S. (2020) 'Blade Shape Analysis on The Performance of The Pelton Turbine Prototype', 7(1), pp. 50–55.

## BAB 9

# SUHU DAN KALOR

A Sediyo Adi Nugraha

Universitas Pendidikan Ganesha (Undiksha)  
adi.nugraha@undiksha.ac.id

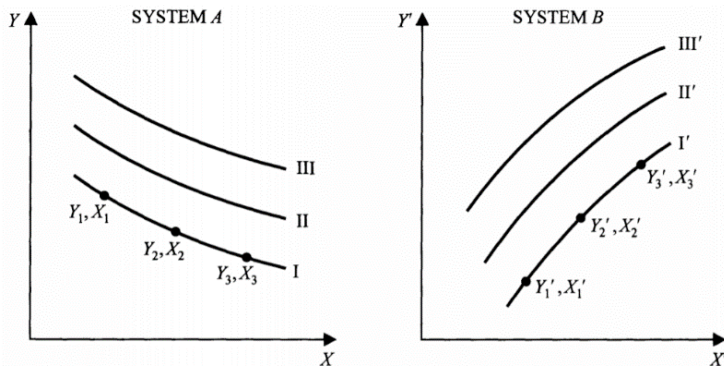
### 9.1 Konsep Suhu

Konsep suhu meningkat dalam interpretasi dan tingkat abstraksi. Pemahaman suhu pada *anthropomorphic* adalah pengukuran suhu pada tingkat panas yang tinggi dan merupakan bagian objek yang menyeluruh (*macrosscopic*) sebagaimana dirasakan oleh tubuh manusia (Zemansky and Dittman, 1997). Konsepsi panas muncul dari kondisi sensasi ketika menyentuh tubuh seperti hangat atau dingin. Ketika dua tubuh dimana salah satu tubuh merasakan hangat daripada yang lain dibawa bersama (berdekatan), maka bagian tubuh yang lebih panas akan didinginkan dan yang lebih dingin dipanaskan sampai titik tertentu sehingga menyebabkan semua perubahan lenyap. Dua tubuh itu kemudian dikatakan berada dalam kesetimbangan panas (*thermal equilibrium*) (Planck, 1905).

Para peneliti memahami bahwa konsep suhu didasarkan dari kesetimbangan panas, seperti pada Hukum Termodinamika Zeroth. Secara sederhana, suatu sistem dengan lapisan tertentu pada kesetimbangan panas dapat digambarkan melalui diagram X-Y (Gambar 9.1) dan disebut sebagai *isotherm*. Dimana *isotherm* adalah semua titik point dari lapisan yang mewakili dan dimiliki oleh sistem A akan mengalami kesetimbangan panas terhadap semua lapisan dan point yang ada di sistem B (Zemansky and Dittman, 1997).

Semua lapisan saling terhubung jika semua sistem memiliki kesamaan, yaitu berada pada kesetimbangan panas satu sama lain. Sistem ini sendiri pada semua lapisan memiliki sebuah keterangan (*property*) yang memastikan keseimbangan suhu mereka satu sama

lain, dan itu disebut sebagai keterangan suhu (*property temperature*). Suhu sebagai sebuah sistem adalah keterangan yang menentukan apakah suatu sistem berada dalam kesetimbangan panas dengan sistem lain (Zemansky and Dittman, 1997).

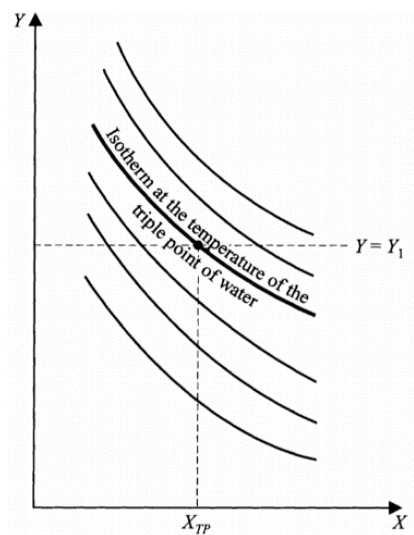


Gambar 9.1 *Isotherm* dari Dua Sistem (Zemansky and Dittman, 1997).

Karena suhu merupakan kuantitas yang sangat panas, suhu pada seluruh sistem di kesetimbangan panas ditampilkan menjadi sebuah bilangan/angka. Pembentukan skala suhu hanyalah penerapan aturan untuk menentukan satu bilangan yang menjadi bagian dari *isotherm*. Setelah ini dilakukan, maka diperlukan dan mencukupi suatu kondisi untuk kesetimbangan panas antara dua sistem dengan kondisi sistem memiliki suhu yang sama. Kemudian, ketika suhu yang dimiliki berbeda, maka itu dipastikan sistem tidak berada di dalam kesetimbangan panas.

Penetapan skala suhu empiris, dilakukan melalui pemilihan beberapa sistem dengan memproyeksikan pada koordinat X dan Y (Gambar 9.2) sebagai standar dan disebut sebagai *thermometer*. Selain itu, dilakukan adopsi aturan untuk menentukan nilai bilangan pada suhu yang berhubungan dengan setiap *isotherm*. Koordinat X disebut keterangan termometrik (*thermometric property*) dan bentuk fungsi termometrik menentukan skala suhu empiris (Zemansky and Dittman, 1997). Ada banyak jenis thermometer yang berbeda, masing-masing dengan sarana termometrik sendiri seperti pada Tabel 9.1 menyajikan enam thermometer modern.





Gambar 9.2 Penetapan nilai bilangan pada skala suhu di *isotherm* untuk dipilih sebagai sistem standar dan ditentukan secara acak (Zemansky and Dittman, 1997).

Tabel 9.1 Termometer dan Keterangan Termometrik

Jenis Termometer	Keterangan Termometrik	Simbol
Gas (konstanta volume)	Teknanan	P
Daya tahan platinum (konstanta tension)	Daya tahan elektrik	R'
<i>Thermocouple</i> (konstanta tension)	Emisi panas	$\epsilon$
Uap helium (tingkat jenuh)	Tekanan	P
Paramagnetic Salt	Kerentanan magnetik	x
Blackbody radiation	<i>Radiant exitance</i>	$R_{bb}$

Sumber: (Zemansky and Dittman, 1997)

Suhu yang umum untuk termometer dan untuk semua sistem dalam kesetimbangan panas dapat diperoleh dengan persamaan fungsi termometrik (*Thermometric Function*).

$\theta(X) = aX$  (*Y Konstan*) .....(9.1)

Dimana nilai *a* adalah nilai konstan. Nilai *X* merupakan nilai 0, begitu juga untuk suhu. Hal itu dikarenakan tidak ada penambahan

nilai dalam persamaan linier (9.1) sehingga persamaan itu digunakan untuk menentukan skala suhu mutlak seperti skala Kelvin atau skala Rankine. Persamaan 9.1 berlaku secara umum untuk termometer yang ditempatkan di tempat tertentu dengan dihubungkan sistem temperatur  $\theta$  (X) yang telah terukur. Oleh karena itu, penerapannya ketika termometer ditempatkan dengan sistem standar yang dipilih secara acak dalam bentuk lapisan ganda; seperti lapisan yang dipilih dari sistem standar, hal itu disebut titik tetap (*fixed point*) pada temperatur yang tetap. Titik tetap merupakan suhu referensi untuk menetapkan skala suhu (*temperature scales*).

Sebelum tahun 1954, skala suhu menurut satuan pengukur internasional adalah skala Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ), yang didasarkan pada interval suhu antara dua titik tetap:

1. Suhu di mana es murni ada dalam keseimbangan dengan air yang jenuh udara pada standar tekanan atmosfer (76 mm Hg), maka itu disebut titik es (*the ice point*);
2. Suhu pada keseimbangan antara air murni dan uap murni pada standar tekanan atmosfer, maka disebut titik uap (*the steam point*).

Interval suhu antara kedua titik tetap adalah 100 derajat (panas) yang disingkat menjadi  $100^{\circ}\text{C}$ . Pada tahun 1954, sebuah titik tetap telah dipilih sebagai dasar untuk skala suhu internasional yang baru yaitu skala Kelvin. Keadaan antara es, air cair, dan uap air ada dalam kesetimbangan suatu keadaan yang dikenal sebagai titik tiga air (*the triple point of water*), dan memberikan standar suhu acuan. Suhu yang berasal dari tiga titik point air memiliki nilai yang sangat akurat dan produksi pengukuran memberikan nilai 273.16 Kelvin sesuai dengan 0.01 derajat celcius yang berguna untuk mempertahankan besarnya unit suhu. Perhatikan bahwa derajat berasal dari skala Kelvin sehingga suhu tiga titik menjadi  $273.16^{\circ}\text{K}$ . Suhu tiga titik air merupakan standar titik tetap termometri (*Thermometry*) (Zemansky and Dittman, 1997).

## 9.2 Perpindahan Panas (Kalor)

Setiap kali terdapat peningkatan suhu dalam suatu sistem, atau dua sistem yang berbeda suhu ditempatkan berdekatan, maka energi ditransfer. Proses dimana energi ditransfer pada tempat itu, maka hal itu dikenal sebagai perpindahan panas (*heat transfer*). Proses perpindahan itu disebut panas, tidak dapat diamati atau diukur secara langsung (Kreith et al., 2011). Jelasnya proses pemanasan merupakan perpindahan energi dari salah satu bagian sistem ke bagian lainnya atau dari satu sistem ke sistem lainnya dengan hanya didasari perbedaan suhu (Zemansky and Dittman, 1997).

Secara umum, literatur mengenai perpindahan panas memiliki tiga bentuk yang berbeda dari proses perpindahan panas; konduksi, radiasi, dan konveksi (Gambar 9.3). Sebenarnya, hanya konduksi dan radiasi yang merupakan bagian dari proses perpindahan panas karena kedua mekanisme itu melakukan pengoperasian mekanisme berdasarkan perbedaan suhu. Sedangkan untuk konveksi tidak sepenuhnya mematuhi definisi perpindahan panas karena mekanisme bergantung pada transportasi massal. Tetapi sejak konveksi juga mencapai penyebaran energi dari daerah dengan suhu yang lebih tinggi ke daerah dengan suhu yang lebih rendah, maka istilah perpindahan panas melalui konveksi diterima secara umum (Planck and Masius, 1914; Kreith et al., 2011).



Gambar 9.3 Analogi untuk tiga jenis perpindahan panas (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017)

Penjelasan mengenai analogi perpindahan panas pada Gambar 9.3 secara sederhana dijelaskan oleh Lienhard IV and Lienhard V (2000, 2017) seperti berikut;

- Case 1 Air langsung dialirkan dari sumur ke arah rumah dari W ke B melalui media yang mandiri. Ini analogi untuk radiasi termal dalam ruang hampa udara atau sebagai besar gas.
- Case 2 Pergerakan ember air dari W ke B sebagai media. Ini analogi untuk konduksi.
- Case 3 Pelari tunggal sebagai media yang membawa air dari W ke B. Ini adalah analogi untuk konveksi.

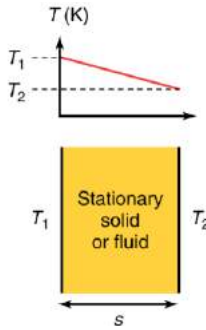
### 9.2.1 Konduksi

Ketika dua bagian dari zat materi dipertahankan pada suhu yang berbeda dan suhu dari setiap elemen volume kecil dari zat diantaranya diukur, percobaan menunjukkan distribusi suhu yang berkelanjutan. Pengangkutan energi antara elemen volume tetangga berdasarkan perbedaan suhu di antara mereka dikenal sebagai konduksi panas. Hukum dasar konduksi panas adalah secara umum hasil percobaan pada aliran linier panas melalui lempengan teak lurus (Zemansky and Dittman, 1997). Hukum Fourier merupakan teori yang mengemukakan tentang konduksi panas dan menghasilkan persamaan empiris yang menyandang namanya: fluks panas (*the heat flux*)  $q$  ( $W/m^2$ ), dihasilkan dari konduksi termal sebanding dengan besarnya kenaikan suhu dan berlawanan dengan ukurannya. Jika hal itu disebut proporsional konstan sebagai  $k$  maka konstan  $k$  disebut konduktivitas termal (*the thermal conductivity*) (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).

$$q = -k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (9.2)$$

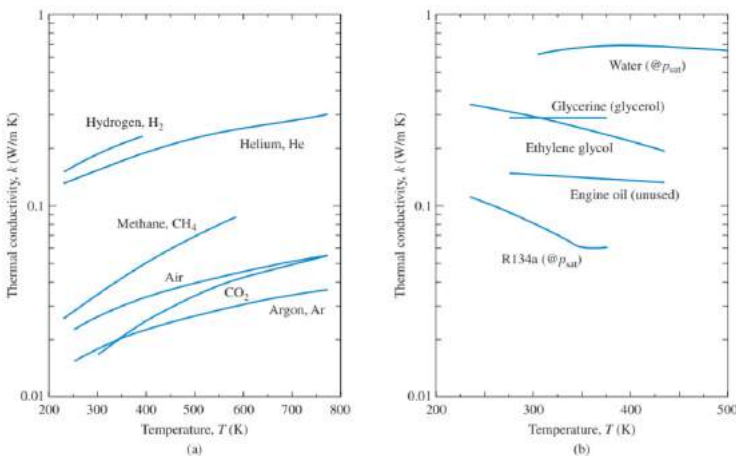
Konduksi merujuk pada aliran panas dalam benda padat atau cairan (cairan atau gas) yang sedang diam/tak bergerak (Gambar 9.4). Konduksi panas dalam sebuah objek, misalnya dinding biasanya dianggap sebanding dengan perbedaan suhu  $T_1 - T_2$  pada dua sisi objek (ketebalan  $s = s_1 - s_2$ ) serta permukaan suatu objek, yang merupakan contoh spesifik dari dinding satu dimensi, konduksi

baru yang ada mengarah pada suhu yang bervariasi pada jarak jauh (Vollmer and Mollmann, 2010).



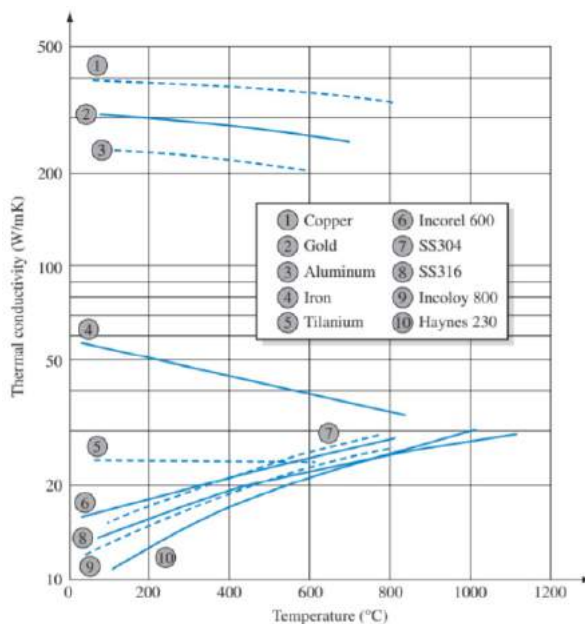
Gambar 9.4 Konduksi panas terjadi dalam benda padat atau tak-bergerak (Vollmer and Mollmann, 2010).

Berdasarkan deskripsi yang ada dapat disederhanakan energi yang bergerak lebih cepat maka semakin cepat energi berpindah melalui molekul. Oleh karena itu, keterangan perpindahan yang disebut sebagai konduktivitas panas harus bergantung pada suhu gas. Pada tekanan sedang, ruang antara molekul akan menjadi besar dibandingkan dengan ukuran molekul; karena itu konduktivitas termal gas pada dasarnya terlepas dari tekanan. Gambar 9.5 memperlihatkan bagaimana konduktivitas termal terhadap beberapa variasi gas dengan suhu.



Gambar 9.5 Variasi konduktivitas termal dengan suhu; (a) gas dan (b) cairan (Kreith et al., 2011).

Menurut teori yang ada materi padat terdiri dari elektron bebas dan atom dalam susunan periodik ruang. Dengan demikian, energi termal dapat dilakukan dengan dua mekanisme; migrasi elektron dan getaran ruang yang bebas. Dua efek ini aditif (saling mengisi) tetapi secara umum, perpindahan elektron lebih efektif daripada perpindahan energi getaran dalam struktur ruang. Karena perpindahan elektron membawa aliran listrik dengan cara yang sama dimana mereka membawa energi termal dari energi yang besar ke energi yang lebih kecil. Konduktor elektrik yang baik biasanya selalu menghantarkan panas dengan baik pula, sedangkan insulator yang baik merupakan konduktor yang buruk untuk menghantarkan (perpindahan) panas. Pada benda padat non-metal tidak memiliki ataupun sangat sedikit perpindahan elektron dan konduktivitas sehingga perpindahan ditentukan oleh getaran ruang. Jadi, bahan-bahan ini memiliki konduktivitas termal lebih rendah dibandingkan benda logam. Beberapa benda metal dan campuran sebagai penghantar perpindahan konduktivitas termal ditampilkan pada Gambar 9.6 (Kreith et al., 2011).



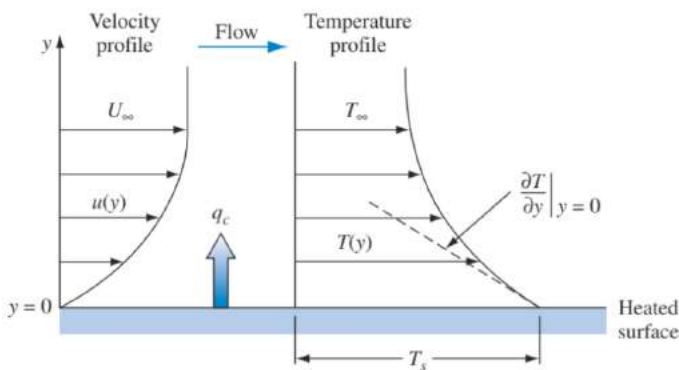
Gambar 9.6 Variasi dari konduktivitas termal antara suhu dan beberapa benda metal dan logam campuran (Kreith et al., 2011).

### 9.2.2 Konveksi

Aliran cairan atau gas yang menyerap panas di satu tempat dan kemudian pindah ke tempat lain, dimana kondisi itu bercampur dengan cairan yang lebih dingin dan menolak panas, proses itu disebut sebagai arus konveksi (*convection current*). Jika gerakan cairan disebabkan oleh perbedaan kepadatan yang menyertai perbedaan suhu fenomena ini disebut konveksi alami (*natural convection*). Jika cairan dibuat untuk bergerak oleh tindakan pompa atau kipas, itu disebut konveksi paksa (*forced convection*) (Zemansky and Dittman, 1997).

Gambar 9.7 menunjukkan proses pelat panas pada suhu permukaan  $T_s$  dan cairan pada suhu permukaan  $T_\infty$  mengalir sejajar pada sebuah media yang tegak lurus. Sebagai hasil dari kekuatan paksa kecepatan di cairan, maka akan memberikan nilai nol pada dinding pelat dan akan meningkat menjadi  $U_\infty$  seperti yang diperlihatkan. Karena cairan tidak bergerak di awal, maka perpindahan panas di pelat melalui konduksi. Jika kita mengetahui kenaikan dan konduktivitas termal di awal, maka hal itu bisa dihitung tingkat perpindahan panas dari persamaan 9.3.

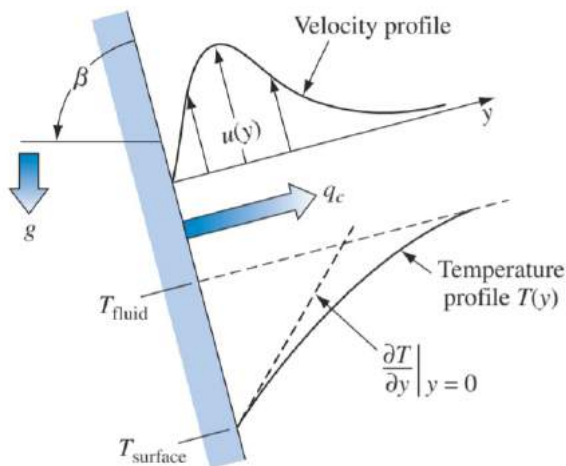
$$q_c = -k_{\text{fluid}} A \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{\text{at } y} = 0 \dots\dots\dots (9.3)$$



Gambar 9.6 Profil kecepatan dan suhu untuk perpindahan panas dari pelat panas dengan aliran di permukaanya (Kreith et al., 2011).

Tetapi peningkatan suhu awal bergantung pada kecepatan dimana kondisi makro lebih baik dari kondisi mikro yang membawa cairan panas di awal. Oleh karena itu, peningkatan suhu pada permukaan awal bergantung di aliran medan, khususnya pada kecepatan mulainya yang bebas  $U^\infty$  (Kreith et al., 2011).

Situasinya sangat mirip dalam konveksi alami. Perbedaan utamanya adalah bahwa dalam konveksi paksa dimana kecepatan jauh dari permukaan dan menunjukkan nilai aliran bebas yang ditetapkan oleh kekuatan luar, sedangkan dalam konveksi alami dimana kecepatan pada awalnya meningkat dengan meningkatnya jarak dari perpindahan panas permukaan dan kemudian menurun seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.7. Alasan untuk kondisi itu adalah bahwa tingkat kerekatan berkurang agak cepat dengan jarak permukaan sementara perbedaan alami menurun lebih lambat. Interaksi kekuatan ini akan menyebabkan kecepatan untuk mencapai maksimum dan kemudian mendekati nol jauh dari permukaan panas. Medan suhu dalam konveksi alami dan konveksi paksa memiliki bentuk yang sama dan dalam kedua kasus mekanisme perpindahan panas di cairan-padat pada proses awal adalah konduksi (Kreith et al., 2011).



Gambar 9.7 Distribusi Kecepatan dan Suhu untuk konveksi di atas pelat panas padat sudut  $\beta$  (Beta) dari horizontal (Kreith et al., 2011).



Eksperimen menunjukkan bahwa koefisien konveksi tergantung pada beberapa faktor menurut Zemansky and Dittman (1997) yaitu;

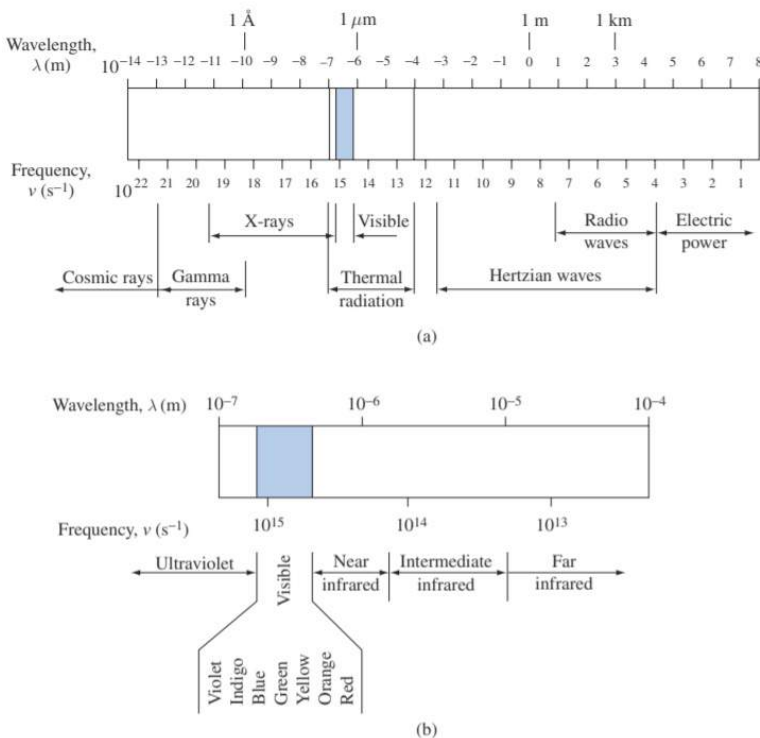
1. Apakah dinding itu datar atau melengkung;
2. Apakah dinding itu horizontal atau vertikal;
3. Apakah cairan yang bersentuhan dengan dinding itu adalah gas atau cairan;
4. Kepadatan, kerekatan, panas yang spesifik, dan konduktivitas termal pada cairan itu;
5. Apakah kecepatan cairan itu cukup kecil untuk menimbulkan aliran yang berlapis-lapis atau cukup besar untuk menyebabkan aliran yang bergolak (turbulent);
6. Apakah penguapan, kondensasi, atau pembentukan skala telah terjadi.

Karena kandungan fisik cairan tergantung pada suhu dan tekanan, jelaslah bahwa perhitungan yang seksama tentang koefisien konveksi yang cocok untuk sebuah dinding dan cairan merupakan masalah yang sangat rumit. Solusi dari masalah untuk situasi tertentu dicapai melalui integrasi bilangan.

### 9.2.3 Radiasi Termal

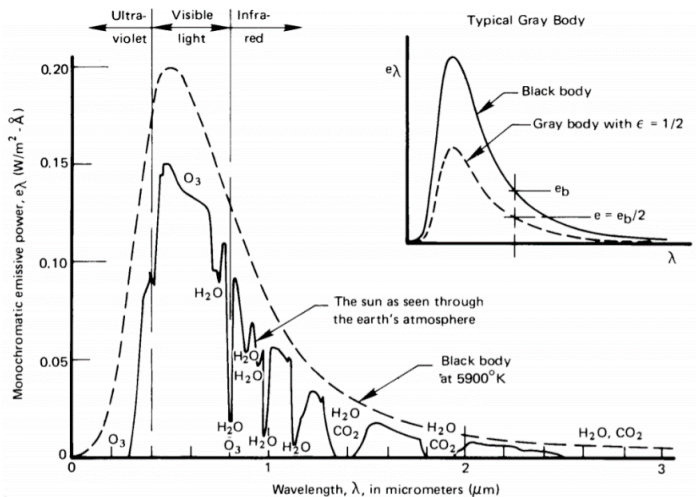
Ketika tubuh ditempatkan pada sebuah kotak dengan dinding yang memiliki suhu di bawah suhu tubuh, suhu tubuh akan berkurang bahkan jika tubuh telah dikeluarkan dari kotak tersebut. Proses perpindahan panas melalui tubuh dengan indikator suhu, dimana perpindahan itu tidak menggunakan perantara, maka itu disebut sebagai radiasi termal (*thermal radiation*). Radiasi termal didefinisikan sebagai energi cahaya yang dipancarkan oleh medium berdasarkan suhunya. Dengan kata lain, pancaran radiasi termal diatur oleh suhu tubuh yang memancarkan. Rentang panjang gelombang yang tercakup oleh radiasi termal kira-kira antara 0.1 – 100 micrometer ( $\mu\text{m}$ ). Kisaran ini biasanya terbagi menjadi beberapa panjang gelombang yaitu ultraviolet, panjang gelombang tampak, dan inframerah sebagaimana terlihat pada Gambar 9.8 (Kreith et al., 2011).

Radiasi termal selalu mencakup berbagai panjang gelombang. Jumlah radiasi yang dipancarkan per unit panjang gelombang disebut radiasi monokromatik (*monochromatic radiation*); radiasi itu bervariasi sesuai dengan panjang gelombang dan kata spektral digunakan untuk menunjukkan penggunaan panjang gelombang. Distribusi spektral ini tergantung pada suhu dan karakteristik permukaan dari pancaran benda. Matahari, dengan suhu permukaan efektif sekitar 5800 K ( $10.400^{\circ}\text{R}$ ), memancarkan sebagian energinya di bawah 3 micrometer ( $\mu\text{m}$ ), sedangkan bumi pada suhu sekitar 290 K ( $520^{\circ}\text{R}$ ) memancarkan lebih dari 99% radiasi dengan panjang gelombang di atas 3  $\mu\text{m}$ . Perbedaan emisi yang dihasilkan oleh matahari dengan pancaran benda diperlihatkan pada Gambar 9.9 (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017; Kreith et al., 2011).

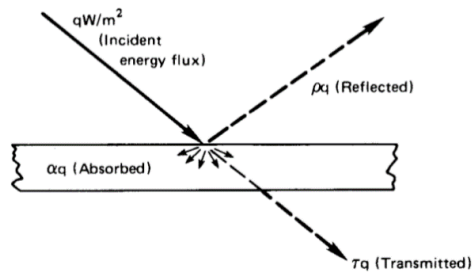


Gambar 9.8 (a) Spektrum Elektromagnetik dan (b) Porsi radiasi termal dari spektrum elektromagnetik (Kreith et al., 2011).

Model untuk perantara radiator termal yang sempurna disebut benda hitam (*black body*). Benda ini menyerap semua energi yang dipancarkan dan tidak memantulkan apa-apa. Benda hitam paling mudah menyimpan dan mempertahankan suhu karena terdapat rongga pada dindingnya. Benda hitam akan mudah dipahami dari optik analog di saluran spektral tampak. Katakanlah bahwa sebuah aliran panas bercahaya  $q$  jatuh di atas benda tembus cahaya yang tidak berwarna hitam seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.10. Terdapat bagian  $\alpha$  bagian dari total energi yang diberikan yang disebut sebagai serapan (*absorb*); bagian  $p$  disebut dengan pantulan (*reflectance*) yang berasal dari aliran panas tersebut; bagian  $\tau$  disebut diteruskan (*transmitted*) yang merupakan aliran yang tidak terserap ataupun dipantulkan. Hal itu akan berbeda ketika yang digunakan ialah benda hitam, maka tidak akan ada aliran yang diteruskan maupun yang dipantulkan dari benda hitam tersebut (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017; Vollmer and Mollmann, 2010).



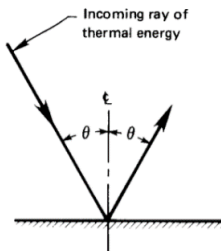
Gambar 9.9 Perbandingan pancaran energi dari matahari dengan benda hitam di suhu yang sama (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).



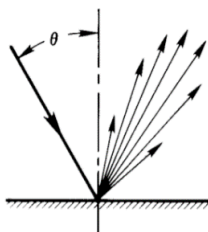
Gambar 9.10 Distribusi energi pada benda tembus cahaya (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).

Energi yang dipancarkan oleh permukaan, merupakan bagian total energi yang masuk dan dipantulkan dari permukaan yang tidak hitam, bisa saja pantulan menyebar (*diffuse*) ataupun normal (*specular*). Energi itu juga dapat dipancarkan atau dipantulkan dengan permukaan berbeda sesuai dengan batas yang dimiliki. Gambar 9.11 memperlihatkan bagaimana radiasi dapat tercermin pada beberapa permukaan. Sebuah cermin memantulkan radiasi yang terlihat dengan kecepatan hampir sempurna. Ketika pantulan atau pancaran tercermin menyebar, maka tidak ada arah bagi sinar (energi) untuk bisa keluar (membuat pantulan sempurna) (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).

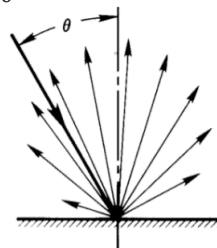
Pada permukaan datar



Pada permukaan sedikit kasar

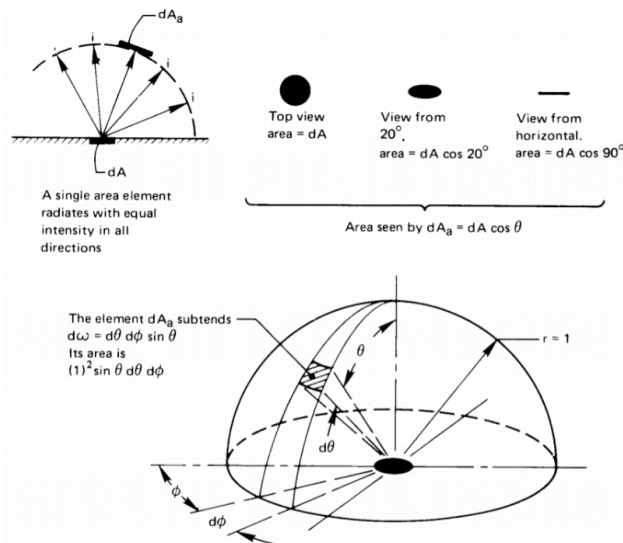


Pada permukaan yang sangat kasar dari datangnya pantulan yang membentuk sudut  $\theta$



Gambar 9.11 Refleksi dari radiasi sempurna dan menyebar (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).

Perimbangan radiasi pada permukaan yang bulat seperti terlihat pada Gambar 9.12. Jika element adalah hitam, radiasi yang memancarkan tidak dapat dibedakan dari radiasi yang akan dikeluarkan dari rongga hitam pada suhu yang sama dan itu adalah ke seluruh arah (untuk radiasi yang menyebar pada benda tidak-hitam, mempertimbangkan juga pada radiasi energi yang keluar permukaan). Sehingga tingkat dimana energi dipancarkan ke arah mana pun sebanding dengan perkiraan area dari  $dA$  secara normal dengan arah datangnya sinar sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9.12 (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).



Gambar 9.12 Intensitas radiasi melalui bidang lengkung (bola Bumi) (Lienhard IV and Lienhard V, 2000, 2017).

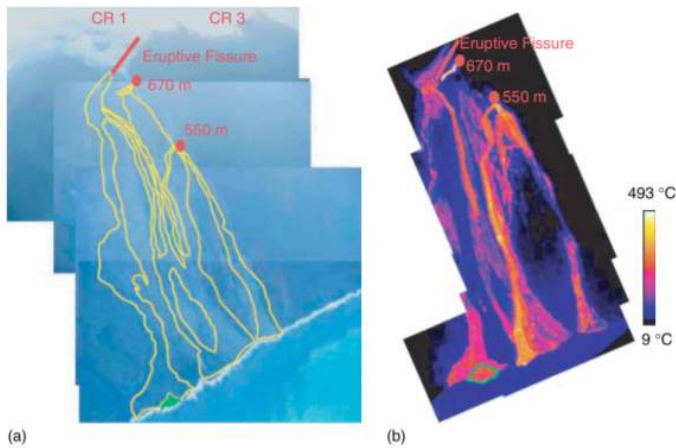
### 9.2.3.1 Aplikasi Radiasi Termal

Aplikasi radiasi termal untuk berbagai kepentingan sangat berguna sekali, salah satu penerapan dari radiasi termal ialah untuk pemantauan gunung berapi. Pengguna radiasi termal dengan melakukan integrasi dengan kamera yang telah dimodifikasi supaya panjang gelombang inframerah termal bisa dipergunakan. Selain itu, penggunaan kamera inframerah termal dilakukan pada wahana helikopter ataupun kapal (Calvari *et al.*, 2005; Spampinato *et al.*,

2008). Pengukuran dengan menggunakan saluran inframerah termal untuk mengetahui aktivitas gunung api memiliki banyak kegunaan diantaranya;

1. Mengenali pergerakan magma di puncak gunung berapi;
2. Mendeteksi pergerakan tanggul yang dangkal;
3. Melacak aktivitas letusan;
4. Membedakan dan mengukur sifat termal dan reologi dari aliran lava basaltik, lubang lava, dan aliran lava silikon serta memantau kondisi termal ketika memasuki laut;
5. Memantau perkembangan struktur pada medan lairan lava;
6. Menganalisis perubahan area yang terdampak lava;
7. Penelitian mengenai letusan aktif, aktivitas kepundan, dan pelepasan gas;
8. Memperoleh data kecepatan aliran lava yang aktif;
9. Mendeteksi potensi kegagalan letusan di kerucut gunung api dan mengetahui perkembangan retakan sebelum aktivitas gunung api;
10. Menganalisis aktivitas danau lava.

Analisis dengan menggunakan gambar inframerah termal perlu dipadukan dengan gambar nyata supaya identifikasi kenampakan antara lava dapat mudah dikenali dan dibedakan sebagaimana terlihat pada Gambar 9.13 yang merupakan kenampakan dari letusan gunung api Stromboli. Melalui gambar nyata maka terlihat sebaran lokasi aliran lava yang mengalir dari puncak hingga masuk ke laut, tetapi kekurangan tidak mengetahui aliran lava mana yang masih panas. Oleh karena itu, ketika gambar termal di ambil maka dengan mudah mengenali dan melakukan identifikasi perbedaan aliran lava yang masih panas dan yang sudah dingin. Hal itu akan sangat membantu dalam mengambil jalur evakuasi yang diperlukan.



Gambar 9.13 (a) Foto komposit nyata dan (b) Foto termal (Calvari *et al.*, 2005).

### Daftar Pustaka

- Calvari, S. *et al.* (2005) 'Chronology and complex volcanic processes during the 2002-2003 flank eruption at Stromboli volcano (Italy) reconstructed from direct observations and surveys with a handheld thermal camera', *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(2), pp. 1–23. doi: 10.1029/2004JB003129.
- Kreith, F., Manglik, R. M. and Bohn, M. S. (2011) *Principles of Heat Transfer*. Seventh Ed. Edited by H. Gowans, T. Altieri, and C. Rizzo. United States of America: Cengage Learning.
- Lienhard IV, J. H. and Lienhard V, J. H. (2000) *A Heat Transfer Textbook*. Third Edit. Cambridge, Massachusetts, U.S.A.: Published by J.H. Lienhard V.
- Lienhard IV, J. H. and Lienhard V, J. H. (2017) *A Heat Transfer Textbook*. Fourth Edi. Cambridge, Massachusetts, U.S.A.: Phlogiston Press.
- Planck, M. (1905) *Treatise on Thermodynamics*. Seventh Ed. Berlin, Germany: Dover Publications.
- Planck, M. and Masius, M. (1914) *The Theory Of Heat Radiation*. Philadelphia: P.Blakiston's Son & CO.
- Spampinato, L. *et al.* (2008) 'Shallow magma transport for the 2002-3 Mt. Etna eruption inferred from thermal infrared surveys', *Journal*

*of Volcanology and Geothermal Research*, 177(2), pp. 301–312.  
doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.05.013.

Vollmer, M. and Mollmann, K.-P. (2010) *Infrared Thermal Imaging*.  
Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

Zemansky, M. W. and Dittman, R. H. (1997) *Heat and Thermodynamics*.  
Seventh Ed. Edited by K. J. Allanson and J. M. Morriss. United States  
of America: McGraw-Hill.



# BAB 10

## TEORI RELATIVITAS

**Handini Widyastuti**

Universitas Bina Sarana Informatika  
handini.hwy@bsi.ac.id

### 10.1 Pendahuluan

Teori relativitas merupakan satu dari banyaknya teori yang penting pada fisika modern. Hal ini terutama dalam meluruskan konsep-konsep dasar dalam fisika yang berkaitan dengan ruang dan waktu, momentum dan energi sebagai kerangka acuan kinematika semua gejala alam, yang akhirnya membuat cahaya menjadi pembawa isyarat berkecepatan maksimum (Anugraha, 2011).

Teori relativitas yang diungkapkan oleh Einstein mengungkapkan bahwa ruang dan waktu tidak konstan melainkan dapat berubah. Teori tersebut menjelaskan bahwa perilaku objek dan benda di dalam ruang dan waktu juga dapat digunakan untuk memprediksi beberapa hal, mulai dari medan magnet, melengkungnya cahaya dikarenakan adanya pengaruh gravitasi, proses melelehnya merkuri.

Teori tersebut dapat kita dipahami secara sederhana. Pemahaman pertama, bahwa tidak adanya kepastian aspek. Misalnya, pada saat kita mengukur kecepatan atau kejadian terhadap waktu dari sebuah objek, maka akan terlihat bahwa semua itu selalu berkaitan satu dengan lainnya.

Para ilmuwan sejak dulu telah mempelajari sifat-sifat alam semesta. Namun sebenarnya, mereka hanya mempelajari sedikit bagian saja dari semua alam semesta ini. Dilaksanakan seperti mempelajari debu yang terdapat di lapangan olahraga. Artinya, bahwa para ilmuwan tersebut sebenarnya hanya menguasai sangat sedikit bagian dari alam semesta yang sangat luas ini.

## 10.2 Teori Relativitas Khusus

Teori relativitas khusus merujuk pada dua konsep:

1. Setiap objek dalam semua kerangka rujukan yang bergerak dengan kecepatan tetap terhadap yang lain, maka akan berlaku hukum fisika. Artinya, wujud dari persamaan fisika akan terlihat selalu sama walaupun kita amati pada saat sedang bergerak.
2. Konsekuensi teori relativitas khusus adalah kecepatan arus dari elektromagnet dalam ruang hampa sama dengan  $c$  (kecepatan cahaya di dalam vakum) dan tidak terpaut pada gerak dari sebuah sumber cahaya maupun pengamatnya (cahaya bergerak secepat  $c = 300.000.000 \text{ m/s}$ ).

Pembahasan pertama dalam teori Relativitas Einstein adalah kecepatan waktu. Contoh, jika kamu berjalan kaki atau menaiki kendaraan dengan kecepatan cahaya, maka perputaran waktu akan terhenti.

Artinya, ketika kita berjalan atau mampu membuat sebuah kendaraan yang sebanding atau mungkin lebih dari kecepatan cahaya berarti kita membuat instrumen yang bisa membuat waktu berhenti. Pemahaman ini diungkapkan dalam teori relativitas khusus Einstein. Maka kesimpulan dari teori tersebut adalah bahwa semakin cepat kamu bergerak, maka semakin lambat waktu berputar.

### 10.2.1 Postulat Pertama Einstein

Teori di dalam postulat pertama Einstein ini menyatakan: hukum-hukum fisika adalah sama dalam tiap kerangka rujukan inersia. Dalam teori ini, Einstein menyatakan bahwa: selisih waktu pengamatan antara 2 pengamat yang berbeda (pengamat 1 dalam keadaan diam, pengamat 2 dalam keadaan bergerak) dalam keadaan gerak relatif terhadap kejadian yang diamati adalah berbeda. Jadi, besaran kecepatan, panjang, massa, waktu adalah bersifat relatif. Tetapi karena tidak ada kerangka rujukan yang universal, perbedaan itu tidak dapat dibenarkan. Akhirnya muncullah postulat pertama ini. Contoh pertama adalah kita mengamati dua anak yang saling

melempar buku dalam kereta yang bergerak dengan bergerak. Hal ini disebabkan hukum mekanika.

Lalu untuk postulat kedua yang terpengaruh dari postulat yang pertama, sehingga sepertinya terlihat berlawanan dengan teori Relativitas Newton dan transformasi Galileo yang tidak diperuntukkan pada cahaya. Menurut Einstein, besaran kecepatan, massa, panjang, waktu adalah bersifat relatif.

Contoh berikutnya adalah pada hukum Fisika, yang mendeskripsikan berlakunya gaya gerak listrik (ggl) induksi dalam sebuah kumparan yang disebabkan oleh pergerakan keluar masuk kumparan dari suatu magnet batang permanen.

Dalam contoh kerangka acuan ini, kumparan adalah kerangka acuan diam, sedangkan magnet adalah kerangka acuan bergerak dan menyebabkan perubahan fluks magnetik yang melewati kumparan tersebut sampai akhirnya muncul gaya gerak listrik (ggl) induksi pada kumparan. Sebaliknya, kerangka acuan dapat dibuat berbeda menggunakan cara magnet yang dibuat dengan posisi diam, sementara kumparan yang digerakkan dalam medan magnet akan menyebabkan ggl induksi. Berdasarkan prinsip relativitas, kedua aspek tersebut berfungsi sama baiknya, dikarenakan keduanya memperkirakan ggl induksi yang sama. Hukum induksi Faraday bisa dijalankan pada kedua deskripsi tersebut. Apabila pergerakan magnet batang dan kumparan tidak ada hasil yang sama, maka kita dapat menggunakan percobaan ini untuk membedakan antarkerangka inersia satu dan lainnya. Namun, sudah pasti hal ini akan berlawanan dengan prinsip relativitas.

## 1. Relativitas Kecepatan

Kita dapat mengetahui kecepatan benda 1 terhadap benda 2 jika kita mengetahui kecepatan benda lain (objek 3) terhadap benda 2 dan kecepatan benda 1 terhadap benda 3 yang dinyatakan dengan rumus:

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

$v_1$  = kecepatan benda 1 (m/s);

$v_2$  = kecepatan benda 2 (m/s);

$v'$  = kecepatan relatif benda 1 terhadap benda 2 (m/s); dan

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s).

## 2. Relativitas Panjang

Disebutkan dalam teori ini bahwa: jika objek bergerak mendekati kecepatan cahaya, maka objek akan memendek pada arah saat mereka bergerak dalam kaitannya dari pengamat (kontraksi panjang).

Panjang objek jika diukur oleh pengamat yang diam terhadap benda tersebut, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Keterangan:

$L$  = panjang benda pada kerangka bergerak (m)

$L_0$  = panjang benda pada kerangka diam (m)

$v$  = kecepatan badan terhadap kerangka diam (m/s)

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

## 3. Relativitas Massa

Berdasarkan pendapat Einstein, massa benda yang bergerak (m) akan lebih besar daripada massa benda tersebut saat diam ( $m_0$ ). Pernyataan Einstein tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m$  = massa benda saat bergerak (kg);

$m_0$  = massa benda saat diam (kg);

$v$  = kecepatan benda terhadap kerangka diam (m/s) ;

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

#### 4. Relativitas Waktu (Dilatasi Waktu)

Hubungan antara waktu (dalam keadaan waktu saat diam ataupun pada saat bergerak), kecepatan cahaya dan kecepatan benda/objek bergerak, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\Delta_t$  = selang waktu yang diukur oleh pengamat bergerak terhadap kejadian (s);

$\Delta_0$  = selang waktu yang diukur oleh pengamat diam terhadap kejadian (s);

$v$  = kecepatan benda terhadap kerangka diam (m/s) ;

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

#### 5. Kesetaraan Massa dan Energi

Seperti ruang dan waktu, massa benda yang diteliti oleh pengamat yang diam akan berbeda dengan massa benda yang diteliti oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan Energi saat benda diam dan saat bergerak atau energi total dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_0 = m_0 \cdot c^2$$

$$E = m \cdot c^2 = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Kesetaraan pada hubungan antara energi total, energi diam, dan energi kinetik, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = E_0 + EK$$

$$EK = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \cdot c^2$$

Keterangan :

$E_0$  = energi diam (J);

$E$  = energi total (J) ;

$m_0$  = massa benda saat diam (kg);

- $m$  = massa benda saat bergerak (kg);  
 $v$  = kecepatan benda terhadap kerangka diam (m/s);  
 $EK$  = energi kinetik benda (J);  
 $c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s).

## 6. Momentum Relativistik

Momentum dalam suatu partikel dinyatakan sebagai perkalian massa dan kecepatan. Menurut teori dalam hukum kekekalan momentum linier pada relativitas umum, definisi momentum dari partikel yang massanya diam dituangkan dalam rumus sebagai berikut:

$$p = m \cdot v = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E^2 = E_0^2 + (p \cdot c)^2$$

Keterangan :

- $p$  = momentum relativistik (Ns);  
 $E_0$  = energi diam (J);  
 $E$  = energi total (J) ;  
 $m_0$  = massa benda saat diam (kg);  
 $v$  = kecepatan benda terhadap kerangka diam (m/s);  
 $c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s).

### 10.2.2 Postulat Kedua Einstein

Dalam teori postulat kedua, Einstein menyatakan bahwa: kecepatan cahaya dalam ruang hampa di semua kerangka rujukan inersia adalah sama dan tidak ditentukan pada sumber dari gerak tersebut. Dimisalkan ada dua pengamat mengukur kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Pengamat pertama berada dalam keadaan diam terhadap sumber cahaya dan pengamat kedua bergerak terhadap sumber cahaya tersebut. Kedua pengamat tersebut berada dalam kerangka-kerangka inersia. Berdasarkan prinsip relativitas Einstein, kedua pengamat tersebut diharuskan mendapat hasil yang sama. Yaitu kecepatan cahaya sama dengan  $c$ , tidak bergantung apakah pengamat

itu diam atau bergerak. Pernyataan ini berlawanan dengan logika. Namun, logika yang berdasar pada peristiwa yang terjadi sehari-hari, dan biasanya tidak termasuk perhitungan kecepatan cahaya.

Berdasarkan teori postulat kedua Einstein ini juga dapat dinyatakan bahwa: tidak mungkin untuk seseorang pengamat inersia bergerak dengan kecepatan  $c$ , yakni kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Kecepatan benda yang sama dengan kecepatan cahaya  $c$  mengaitkan sebuah konflik logis.

Selanjutnya, Einstein berupaya untuk memecahkan teka-teki yang telah sedikit terkuak dalam percobaan Michelson Morley yaitu tentang kekonstanan kecepatan cahaya. Bagaimana mungkin kecepatan cahaya sama dengan  $c = 3.108 \text{ m/s}$ , bagaimanapun gerak pengamatnya (diam, mendekati sumber cahaya, atau menjauhi sumber cahaya)?

Mencoba untuk memutarbalikkan kerangka cara berpikir awam secara cerdas, Einstein mengubah teka-teki kecepatan cahaya ini menjadi sebuah postulat. Walaupun disertai kecemasan sementara tentang bagaimana mungkin hal ini bisa terjadi, Einstein menerima fakta yang tak terbantahkan secara eksperimental bahwa kecepatan cahaya selalu konstan. Teka-teki kekonstanan kecepatan cahaya berubah menjadi prinsip kekonstanan kecepatan cahaya. Prinsip kekonstanan kecepatan cahaya adalah tahap awal dari teori relativitas.

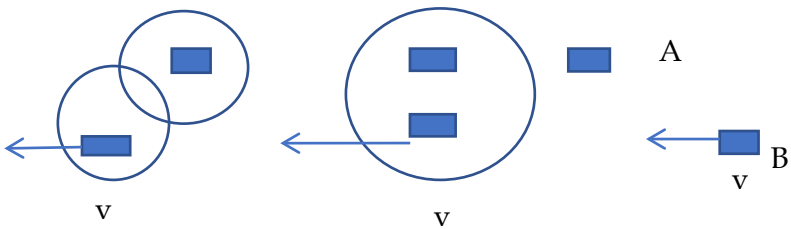
Dilihat dari aspek mekanika klasik, prinsip kekonstanan kecepatan cahaya ini sama sekali tidak bisa dimengerti. Karena prinsip tersebut berlawanan dengan logika. Sebelum Einstein, logika yang totaliter memandang kekonstanan kecepatan cahaya sebagai sebuah kebingungan.

Ketika kita mencoba untuk keluar dari batas-batas pengetahuan kita sendiri, hasilnya selalu menjadi sebuah teka-teki. Dalam pikiran orang awam, jika ketetapan cahaya tidak keliru maka logika yang pasti keliru. Sasaran utama dari gagasan awal Einstein adalah sistem transformasi klasik (Galileo), bahwa buah manis, tetapi inovatif dari sebuah logika tersebut mengarah pada dimensi kecepatan benda-benda makroskopis, seperti gerak pada kendaraan (mobil, kereta,

pesawat), gerak planet, dan sebagainya. Menundukkan logika bukanlah pekerjaan yang mudah.

Einstein adalah orang pertama yang melakukan secara total sehingga persepsinya terhadap ruang waktu berubah secara ekstrem. Selanjutnya ketika dideskripsikan dan diimplementasikan secara keseluruhan, pandangan Einstein mengenai ruang dan waktu menjadi lebih berguna dari pada pandangan logika (Zukav, 2003).

Teori dalam postulat kedua Einstein ini muncul secara langsung dari hasil berbagai percobaan. Pada awalnya postulat ini muncul kelihatannya sangat ekstrem, namun demikian postulat ini mengikuti hampir semua desain perseptif mengenai waktu dan ruang yang kita bentuk berdasarkan apa yang kita alami dalam keseharian. Contoh dari teori ini dapat kita lihat pada Gambar 10.1:



Gambar 10.1 Gejala Relativistik

Dalam Gambar 10.1, ada dua buah kapal. Kapal tersebut kita namakan A dan B. Kapal A hanya diam saja di atas air, sedangkan kapal B melaju dengan kecepatan tetap ( $v$ ). Diibaratkan perairan tempat kapal A dan B tersebut diselimuti kabut, sehingga kedua pengamat yang mengamati kapal A dan B tidak dapat melihat dengan jelas kapal mana yang bergerak. Pada saat kapal B beriringan dengan A, api dinyalakan untuk sesaat. Cahaya api bergerak dengan kecepatan tetap dalam semua arah sesuai dengan postulat kedua relativitas khusus. Pengamat kedua kapal tersebut melihat bola cahaya mengembang dengan pengamat itu sendiri sebagai pusat, setara dengan prinsip dan teori dari relativitas, walaupun salah seorang pengamat mengubah kedudukannya terhadap tempat padamnya api tersebut. Pengamat kapal-kapal tersebut tidak dapat mendeteksi, kapal mana yang sedang



mengalami perubahan tempat. Karena kabut menghapuskan kerangka rujukan lain daripada kapal itu sendiri, dan karena kecepatan cahaya untuk kedua pengamat itu adalah sama, maka keduanya melihat gejala yang sama (Wiyatmo, 2007). Gejala yang diperlihatkan pada gambar tersebut merupakan gejala yang luar biasa.

Hal ini menunjukkan bahwa perputaran gelombang dalam air tidaklah sama dengan pergerakan gelombang dalam ruang hampa. Air bisa menjadi kerangka rujukan, sedangkan ruang hampa tidak dapat menjadi kerangka rujukan. Kecepatan gelombang dalam air berubah terhadap pengamat, sedangkan kecepatan cahaya dalam ruang hampa tidak berubah terhadap pengamat.

Salah satu cara untuk mendefinisikan persepsi bola cahaya yang mengembang secara identik dalam kedua kapal itu adalah dengan mengibaratkan bahwa sistem koordinat dari masing-masing pandangan dipengaruhi oleh gerak relatifnya. Jika pendapat ini dikembangkan dengan dukungan postulat Einstein, maka akan diperoleh banyak efek tak terduga untuk diramalkan, dan pada akhirnya semuanya bisa dibuktikan secara eksperimental.

### 10.3 Teori Relativitas Umum

Teori Relativitas Umum dicetuskan Einstein di tahun 1915. Namun sebelum itu, banyak orang mengetahui 3 hukum gerak. Gravitasi Newton, relativitas khusus dan mekanika newton. Untuk mekanika Newton itu sendiri, tidak berhasil dalam teorinya ketika benda kecepatannya mendekati kecepatan cahaya. Kekurangan dalam teori-teori sebelumnya ditutupi Einstein dalam Teori Relativitas Khusus.

Relativitas umum adalah sebuah teori mengenai gravitasi. Newton pernah menyatakan bahwa gravitasi merupakan gaya yang tidak tampak yang menarik objek satu sama lain.

Teori Gravitasi, coba dirumuskan oleh Einstein berulang kali. Semua itu dilakukan agar teori ini bisa relevan dengan Teori Relativitas Khusus. Sampai akhirnya, Einstein mengungkapkan bahwa gaya gravitasi tidaklah sama dengan gaya lain pada umumnya. Terdapat

efek lengkung ruang dan waktu yang mempengaruhi gaya gravitasi ini. Faktor kelengkungan ini adalah karena massa dan energi tersebar dalam ruang dan waktu.

Jadi, pada relativitas umum, gravitasi tidak dilihat sebagai gaya, melainkan sebagai bentuk dari kelengkungan ruang dan waktu yang diakibatkan oleh massa dari suatu benda/objek. Semakin berat suatu benda/objek, maka akan semakin besar lengkungan ruang dan waktu yang ditimbulkan. Kelengkungan ini berdampak pada waktu yang berjalan. Semakin besar gravitasi, maka laju waktu di sekitar tempat tersebut akan berjalan semakin lambat. Namun, melambatnya waktu hanya berpengaruh pada yang berada di sekitarnya saja.

Menggunakan konsep dari Einstein ini, teori relativitas umum memberikan pandangan yang jauh berbeda mengenai ruang dan waktu. Konsep baru ini memberikan implikasi baru, yang salah satunya adalah pada saat cahaya bintang melewati benda langit masif seperti matahari, maka yang terjadi adalah cahaya bintang tersebut akan dibelokkan di sekitar matahari. Efek lengkung ruang dan waktu yang berada di sekitar matahari itulah yang menyebabkan membeloknya cahaya bintang, bukan sebab dari gravitasi.

### **Contoh Soal 10.1:** Teori Relativitas dan Pembahasan

Ada seorang astronot yang melakukan perjalanan ke luar angkasa pada usia 32 tahun menggunakan roket yang melaju dengan kecepatan mencapai 80% kecepatan cahaya. Astronot tersebut mempunyai saudara kembar, dengan umur yang sama berada di bumi. Saat astronot tersebut kembali ke bumi, saudara kembarnya sudah berumur 44 tahun.

Berapakah usia saudara kembar astronot tersebut, menurut perkiraan dari astronot yang baru saja kembali ke bumi?

#### **Penyelesaian:**

Diketahui bahwa  $v = 0,8c$

Dalam pertanyaan disebutkan bahwa yang ditanya adalah menurut si astronot. Maka astronot yang pergi ke luar angkasa itu

adalah kerangka yang diam, sebaliknya, saudara kembarnya yang berada di bumi sebagai kerangka yang bergerak terhadap roket.

maka  $\Delta t = 44 - 32 = 12$  tahun

sehingga:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ 12 &= \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \\ 12 &= \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - 0,64}} \\ 12 &= \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - 0,64}} \\ \Delta t_0 &= 7,2 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Hasilnya adalah: menurut astronot, umur saudara kembarnya yang berada di bumi seharusnya hanya bertambah sebesar 7,2 tahun ( $\Delta t_0$ ), bukan sebanyak 12 tahun ( $\Delta t$ ).

Maka jika dijumlahkan dengan umur pada saat pergi ke luar angkasa, saudara kembar dari astronot tersebut baru berusia:  $32 + 7,2 = 39,2$  tahun.

#### 10.4 Kesimpulan

Teori relativitas telah melewati perjalanan perkembangan teori yang cukup panjang. Sampai akhirnya pada tahu 1905, Einstein mampu menjelaskan teori relativitas secara mendalam. Secara singkat, Teori Relativitas Albert Einstein ini membuktikan: kecepatan relatif, kontraksi panjang, dilatasi waktu, dan masa dan energi relatif. Teori relativitas mempunyai dua kumpulan teori fisika, yaitu relativitas umum dan relativitas khusus. Dua teori yang dibuat oleh Einstein ini menjelaskan bahwa gelombang elektromagnetik bertolak belakang dengan teori gerakan yang dibuat oleh Newton. Einstein dalam melakukan penelitiannya menggunakan 2 asumsi (postulat) yaitu

tentang teori mendasar dari relativitas dan kecepatan cahaya, yang menurut Einstein kedua postulat itu sangat diperlukan. Selain itu, dua hipotesis tersebut ternyata mempunyai akibat pada percobaannya. Akibatnya yaitu pemuaian waktu dalam ruang dan pengurangan sudut pandang pada objek yang diukur.

### Daftar Pustaka

- Anugraha, R. (2011). *Pengantar Teori Relativitas dan Kosmologi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Erwin, Muhammad Syaipul Hayat, & Sutarno. (2017). Epistemologi dan Keterbatasan Teori Gravitasi. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 33-40.
- Hartini, S. (2019). Revolusi Ilmiah: Global Positioning System (GPS) Sebagai Bukti Empiris Teori Relativitas. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 27.
- Pfeffer, J. a. (2000). *Modern Physics, An Introductory Text*. London: Imperial College Press.
- Wiyatmo, Y. (2007). *Fisika Modern*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Young and Freedman. (2003). *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Zukav, G. (2003). *Dancing Wu Li Masters An Overview of The New Physics*. (A. P. Fudiyatarto, Übers.) Yogyakarta: Kreasi Wacana.

## BIODATA PENULIS



**Lusiani, S.Pd.Si, M.Pd.** Penulis kelahiran Cilacap ini adalah dosen Program Studi Teknik di Akademi Maritim Nusantara sejak tahun 2015 hingga saat ini.

Penulis menyelesaikan pendidikan formal Sarjana Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Yogyakarta pada Tahun 2011 dan Magister Pendidikan Sains di

Universitas Negeri Yogyakarta pada tahun 2013. Email: anilusi0287@gmail.com, lusiani@amn.ac.id



**Arief Muliawan, S.Si., M.Sc.** Penulis kelahiran Pangkajene ini adalah dosen tetap Program Studi Teknik Mesin di Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang. Setelah menamatkan sekolah di SMAN 2 Palu tahun 2003, ia melanjutkan studi S-1 di Jurusan Fisika Universitas Tadulako Palu lulus tahun 2007.

Setelah lulus sarjana, ia melanjutkan studi S-2 di Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada dan mendapatkan gelar Magister of Science pada tahun 2011. Pengalaman publikasi dan pengabdian telah dilakukan mulai tahun 2011 sebagai dosen dalam bidang energi terbarukan dan material. Email: ariefstitek@gmail.com



**Dr. Ratnadewi, S.T., M.T.** Penulis kelahiran Purwokerto ini adalah dosen tetap program studi Teknik Elektro di Universitas Kristen Maranatha, Bandung sejak tahun 1994.

Penulis menyelesaikan pendidikan formal Sarjana Teknik di Universitas Kristen Maranatha, Master Teknik di Institut Teknologi Bandung, dan Doktor di Institut Teknologi Bandung.

Penulis telah menulis beberapa buku komputer, matematika, dan elektro. Jurnal dan prosiding nasional dan internasional terindeks telah dituliskan pula. Email: ratnadewi@maranatha.ac.id



**Erwinsyah Satria, S.T., M.Si., M.Pd.** Penulis kelahiran Bukittinggi ini adalah dosen tetap (*faculty member*) Program Studi Sarjana Pendidikan Dasar (*primary education*) di Universitas Bung Hatta, Padang Sumatera Barat sejak tahun 2007.

Erwinsyah penggemar elektronika, pemrograman, dan traveling ini menyelesaikan pendidikan formal sarjana di Universitas Jayabaya Jurusan Mesin Manufaktur dan *Master of Science in Instrumentation Physics* (M.Si.) di Universitas Indonesia serta Master of Education (M.Pd.) di Universitas Negeri Padang. Sejak tahun 2017 menjalani pendidikan Doktor Pendidikan Dasar di Universitas Pendidikan Indonesia. Email: erwinsyah.satria@bunghatta.ac.id, URL: <http://sinta.ristekbrin.go.id/authors/detail?id=6070917&view=overview>.



**Herman Hi. Tjolleng Taba, S.T., M.T.** Penulis kelahiran Ambon ini adalah dosen tetap pada program studi sarjana teknik mesin di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, Kampus Jayapura sejak tahun 2005.

Penggemar traveling, menulis, mancing ini menyelesaikan pendidikan formal sarjana di Universitas Muslim Indonesia Makassar dan Magister Teknik di Universitas Hasanuddin Makassar. Sampai sekarang diamanahkan jabatan sebagai Sekertaris Program Studi Teknik Mesin di USTJ Papua. Email: herman@ustj.ac.id



**Dr. Tanwir, S.T., M.T.** Penulis kelahiran Ujung Pandang ini adalah dosen tetap fakultas teknologi industri dan kebumian program studi teknik elektro di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, Kampus USTJ Jayapura sejak tahun 1998 dengan kegemaran bulutangkis dan film serta menyelesaikan pendidikan formal Sarjana di Universitas Muslim Indonesia UMI Makassar, dan Master of Electrical Engineering Multimedia Telecommunication (MT) di ITS Surabaya tahun 2001, menyelesaikan pendidikan Doktor Teknik Elektro - Teknik Telekomunikasi Multimedia di ITS Surabaya 2018. Email : tanwir@ustj.ac.id



**Juarni Siregar, S.Pd., M.Kom.** Penulis kelahiran Sei Tampa, Langkat ini adalah dosen tetap (*faculty member*) Program Studi Sistem Infomasi (*Information System*) di STMIK Nusa Mandiri, Kampus Kali Abang Bekasi sejak tahun 2016. Muslimah yang memiliki hobi *gardening and cooking* ini menyelesaikan pendidikan formal Diploma III di Politeknik Negeri Medan Jurusan Teknik Mesin. Menempuh Pendidikan Sarjana (S1) di STKIP Pelita Bangsa Jurusan Pendidikan Matematika dan Magister Ilmu Komputer (M.Kom.) di STMIK Nusa Mandiri. Email: juarni.jsr@nusamandiri.ac.id



**Ahmad Yani**, lahir di Bima, Nusa Tenggara Barat pada tanggal 04 Desember 1987. Lulus Program Sarjana Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Malang Tahun 2009 dan Program Magister Teknik Mesin di Universitas Brawijaya Malang Tahun 2012 dengan konsentrasi konversi energi, serta tahun 2019 lulus Program Profesi Insinyur di Universitas Mulawarman Samarinda. Mulai berkarier di bidang pendidikan sebagai Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Trunajaya Bontang (2012 s/d 2018) dan mulai tahun 2018 s/d sekarang menjadi dosen di Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang. Penelitian

yang telah dilakukan berkaitan dengan teknik konversi energi diantaranya: pembuatan dan analisis turbin air, turbin angin, mesin uap, solar cell, motor bakar, distilasi air laut, biogas, dan pembuatan alat pirolisis pengolah sampah plastik menjadi BBM sampai aplikasi BBM dari sampah plastik untuk konsumsi kendaraan bermotor.



**A Sediyo Adi Nugraha, S.Si., M.Sc.** Penulis kelahiran Metro ini adalah dosen tetap (*faculty member*) Jurusan Geografi Program Studi Sarjana Pendidikan Geografi di Universitas Pendidikan Ganesha, Kampus Singaraja sejak tahun 2018.

Muslim yang gemar mengumpulkan buku ini memulai pendidikan formal pada tingkat Diploma di Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan studi tingkat Sarjana di Universitas Muhammadiyah Surakarta. Sejak tahun 2016 telah menyelesaikan studi pascasarjana di Universitas Gadjah Mada dengan jurusan Penginderaan jauh. Memiliki *research topic* terkait *Thermal Infrared Imaging*, *Image Processing*, dan *Drought disaster* sebagai fokus penelitian yang dikaji. Email: adi.nugraha@undiksha.ac.id URL : -



**Handini Widyastuti, M.Kom.** Penulis kelahiran Jakarta ini adalah dosen tetap (*faculty member*) Program Studi Sistem Informasi (*Information System*) di Universitas BSI Jakarta sejak tahun 2011.

Muslim yang mempunyai hobi *travelling* dan menonton film ini menyelesaikan pendidikan formal sarjana di STMIK Nusa Mandiri dan *Master of Computer Science* (M.Kom.) di STMIK Nusa Mandiri. Email: handini.hwy@bsi.ac.id



Buku ini tersusun menjadi beberapa bab sebagai berikut:

Bab 1 : Pengantar Fisika Terapan

Bab 2 : Analisis Vektor

Bab 3 : Dinamika

Bab 4 : Hidrostatika

Bab 5 : Usaha dan Energi

Bab 6 : Arus dan Tahanan

Bab 7 : Medan Magnet

Bab 8 : Fluida

Bab 9 : Suhu dan Kalor

Bab 10 : Teori Relativitas



✉ [zahirpublishing@gmail.com](mailto:zahirpublishing@gmail.com)  
● [www.penerbitzahir.com](http://www.penerbitzahir.com)

ISBN 978-623-6398-76-0 (PDF)

