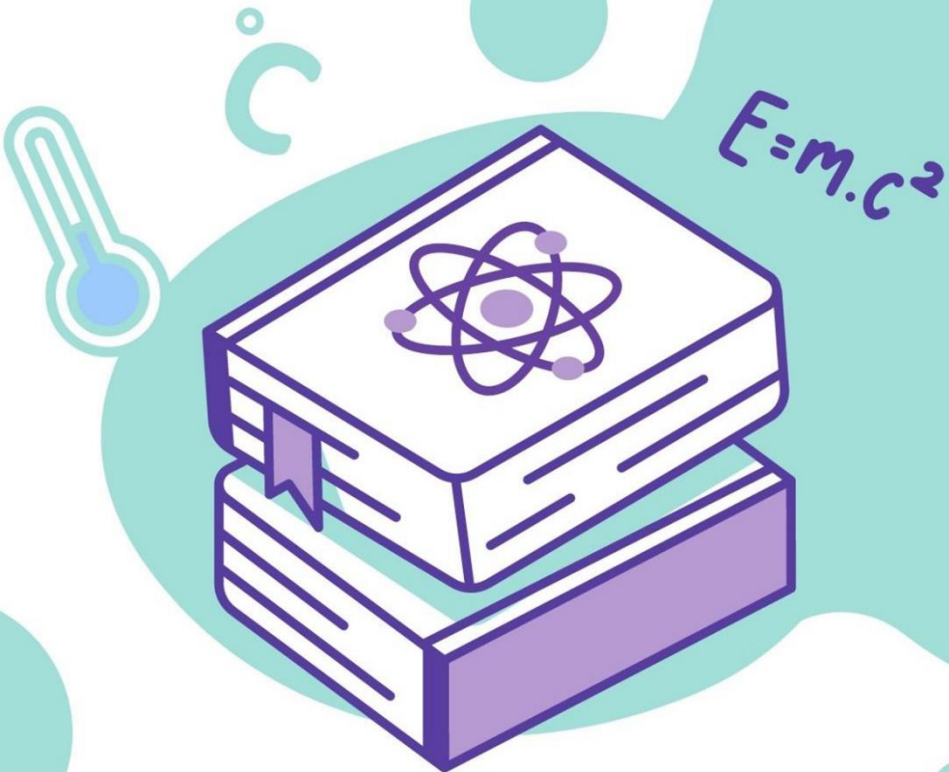


FISIKA 1 DASAR 1

Editor: Suci Haryanti



Sudirman | Silka | Hadriyanti
I Putu Tedy Indrayana | Gabriela Elsandika | Santih Anggereni
Neny Kurniawati | Reni Agustiani | Gusti Ayu Rai Tirta
Sri Mayanty | Febri Rismaningsih | Jan Setiawan
Icha Untari Meidji | Mawarni Saputri | Muh. Said L
Yunita Nur Afifah | Erwinda Fenty Anggraeni | Sitti Nurrahmi
Rafika Sari | Wilson Jefriyanto | Jumiarti Andi Lolo | Dairoh

BUNGA RAMPAI

FISIKA DASAR 1

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

FISIKA DASAR 1

Sudirman
Silka
Hadriyanti
I Putu Tedy Indrayana
Gabriela Elsandika
Santih Anggereni
Neny Kurniawati
Reni Agustiani
Gusti Ayu Rai Tirta
Sri Mayanty
Febri Rismaningsih
Jan Setiawan
Icha Untari Meidji
Mawarni Saputri
Muh. Said L
Yunita Nur Afifah
Erwinda Fenty Anggraeni
Sitti Nurrahmi
Rafika Sari
Wilson Jefriyanto
Jumiarti Andi Lolo
Dairoh

Penerbit



CV. MEDIA SAINS INDONESIA
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

Anggota IKAPI
No. 370/JBA/2020

FISIKA DASAR 1

Sudirman
Silka
Hadriyanti
I Putu Tedy Indrayana
Gabriela Elsandika
Santih Anggereni
Neny Kurniawati
Reni Agustiani
Gusti Ayu Rai Tirta
Sri Mayanty
Febri Rismaningsih
Jan Setiawan
Icha Untari Meidji
Mawarni Saputri
Muh. Said L
Yunita Nur Afifah
Erwinda Fenty Anggraeni
Sitti Nurrahmi
Rafika Sari
Wilson Jefriyanto
Jumiarti Andi Lolo
Dairoh

Editor:
Suci Haryanti

Tata Letak:
Mega Restiana Zendrato

Desain Cover:
Manda Aprikasari

Ukuran:
A5 Unesco: 15,5 x 23 cm

Halaman:
vi, 345

ISBN:
978-623-195-303-2

Terbit Pada:
Mei 2023

Hak Cipta 2023 @ Media Sains Indonesia dan Penulis

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit atau Penulis.
PENERBIT MEDIA SAINS INDONESIA

(CV. MEDIA SAINS INDONESIA)
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga buku kolaborasi dalam bentuk buku dapat dipublikasikan dan dapat sampai di hadapan pembaca. Buku ini disusun oleh sejumlah guru, dosen dan praktisi sesuai dengan kepakarannya masing-masing. Buku ini diharapkan dapat hadir memberi kontribusi positif dalam ilmu pengetahuan khususnya terkait dengan Pembelajaran Berbasis: Fisika Dasar 1.

Sistematika buku ini dengan judul “Fisika Dasar 1” terdiri atas 22 bab yang dijelaskan secara rinci dalam pembahasan mengenai konsep dan strategi dan analisis diantaranya: Konsep Fisika Dasar, Besaran, Satuan Dan Pengukuran, Kinematika Dimensi, Hukum Newton, Dinamika Gerak, Kinematika Rotasi, Gaya Dan Usaha, Energi, Momentum Linear, Dinamika Rotasi, Keseimbangan Benda Tegar, Elastisitas, Tegangan Dan Regangan, Fluida, Persamaan Bernoulli, Temperatur, Teori Atom Gas, Kalor, Termodinamika.

Akhirnya kami mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah mendukung dalam proses penyusunan dan penerbitan buku ini, secara khusus kepada Penerbit Media Sains Indonesia sebagai inisiator. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Jakarta, April 2023
Editor.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
1 KONSEP DASAR FISIKA DASAR	1
Pendahuluan	1
Sejarah Perkembangan Ilmu Fisika.....	2
Konsep Utama dalam Ilmu Fisika.....	6
Model, Teori, dan Hukum.....	8
Pengukuran.....	10
Standar Panjang, Massa, dan Waktu	11
Sistem Satuan Internasional	14
Simpulan	23
2 BESARAN, SATUAN DAN PENGUKURAN.....	27
Besaran dan Satuan	27
Konversi Satuan	30
Pengukuran.....	31
Angka Penting.....	36
Dimensi Besaran	36
3 KINEMATIKA DIMENSI 1.....	41
Vektor Dan Skalar.....	41
Perpindahan.....	46
Kecepatan dan Percepatan.....	48
GLB dan GLBB	51
4 KINEMATIKA DIMENSI 2.....	57
Pendahuluan	57
Kinematika Gerak Vertikal	59
Gerak Jatuh Bebas.....	63

	Kinematika Gerak Proyektil.....	64
	Kinematika Gerak Relatif	73
5	HUKUM NEWTON	83
	Hukum Newton 1	84
	Hukum Newton II	86
	Hukum Newton III.....	89
	Aplikasi Hukum Newton	90
6	DINAMIKA GERAK	97
	Pendahuluan	97
	Gravitasi dan Gaya Berat	97
	Gaya Normal	100
	Vektor Gaya	101
	Gaya Gesek	105
7	KINEMATIKA ROTASI.....	111
	Gerak Rotasi.....	111
	Variabel Kinematika Rotasi	112
	Rotasi Percepatan Sudut Tetap.....	116
	Besaran Rotasi (Hubungan Variabel Linear dan Sudut)	119
	Hukum Kepler dan Pergerakan Planet-Planet.....	122
8	GAYA DAN USAHA.....	127
	Gaya	127
	Gaya Sebagai Besaran Vektor.....	127
	Jenis-jenis Gaya	129
	Usaha.....	136
9	ENERGI.....	141
	Pendahuluan	141
	Energi Kinetik	144

	Energi Potensial	149
	Energi Potensial Gravitasi.....	150
	Energi Mekanik.....	153
	Hukum Kekalan Energi.....	154
10	MOMENTUM LINEAR.....	159
	Pusat Massa.....	159
	Momentum Linear.....	161
	Hukum Kekalan Momentum.....	162
	Implus dan Momentum	166
	Tumbukan	167
11	DINAMIKA ROTASI.....	173
	Pengertian Dinamika Rotasi.....	173
	Momen Gaya/Torsi	173
	Gerak Menggelinding	176
	Energi Kinetik Rotasi.....	180
	Translasi dan Rotasi Benda Tegar.....	181
	Soal dan Penyelesaian	182
12	KESETIMBANGAN BENDA TEGAR	187
	Benda Tegar	187
	Keseimbangan Benda Tegar	187
	Pusat Gravitasi	191
	Keseimbangan Benda Tegar dalam Medan Gravitasi	196
13	ELASTISITAS	203
	Pendahuluan	203
	Elastisitas	203
	Elastisitas Zat Padat	204
	Elastisitas pada Pegas.....	208

	Energi Potensial Pegas	211
	Penerapan hukum Hooke dalam Kehidupan Sehari-hari	213
14	TEGANGAN DAN REGANGAN	217
	Pendahuluan	217
	Konsep Elastisitas	217
	Sifat Elastis dan Plastis Suatu Bahan	218
	Tegangan	219
	Regangan (Strain)	220
	Diagram Tegangan-Regangan	221
	Modulus Young	222
	Modulus Geser	222
15	FLUIDA 1	229
	Tekanan dan Massa Jenis	230
	Hukum Pascal dan Prinsip Archimedes	238
16	FLUIDA 2	249
	Konsep Umum Aliran Fluida	249
	Persamaan Kontinuitas	252
	Konsep Viskositas	255
17	PERSAMAAN BERNOULLI	261
	Penerapan Prinsip Bernoulli dan Torricelli	261
	Penerapan prinsip Bernoulli pada venturimeter	262
	Penerapan prinsip Bernoulli pada tangki berlubang (Teorema Torricelli)	264
	Tegangan Permukaan dan Kapilaritas	266
18	TEMPERATUR	275
	Temperatur dan Termometer	275
	Keseimbangan Termal Dan Hukum Termodinamika Ke Nol	280

	Pemuaian Termal	282
19	TEORI KINETIK GAS.....	287
	Model Gas Ideal	287
	Tekanan Gas Ideal Berdasarkan Teori Kinetik Gas	293
	Kecepatan Berdasarkan Teori Kinetik Gas	294
	Energi dan Derajat Kebebasan	296
	Soal Evaluasi.....	298
20	KALOR.....	303
	Kalor Sebagai Transfer Energi.....	303
	Energi Dalam Gas Ideal	305
	Kalor Jenis.....	306
	Kalor Laten	308
	Perpindahan Kalor.....	309
21	TERMODINAMIKA	315
	Pendahuluan	315
	Hukum Pertama Termodinamika	316
	Proses Termodinamika.....	317
	Siklus Termodinamika	323
	Siklus Carnot.....	324
22	TERMODINAMIKA 2	331
	Efisiensi Mesin.....	332
	Entropi Suatu Sistem.....	336

KONSEP DASAR FISIKA DASAR

Sudirman
UIN Alauddin Makassar

Pendahuluan

Fisika merupakan salah satu bidang sains yang melintasi semua mata pelajaran lainnya. Ilmu pengetahuan lain bergantung pada konsep dan teknik yang dikembangkan melalui fisika. Disiplin ilmu lain - seperti kimia, pertanian, ilmu lingkungan dan biologi - menggunakan hukum fisika untuk lebih memahami sifat studi mereka sendiri. Fisika berfokus pada sifat umum dari dunia alam, umumnya melalui analisis matematika (Butterfield & Earman, 2007).



Sumber: *Emilio Segrè Visual Archives. Aip.org*

Fisika adalah salah satu mata pelajaran sulit yang diajarkan di sekolah. Sejumlah siswa bahkan merasa takut dengan penggunaan matematika. Dalam sebuah penelitian yang dilakukan di Inggris dari tahun 1985 hingga 2006, ditemukan bahwa ada penurunan 41 persen dalam jumlah peserta ujian A-level di bidang sains. Tren penurunan ini juga terjadi di negara-negara lain. Terlepas dari tren ini, fisika tetap

menjadi bagian integral dari sistem pendidikan. Melalui fisika, metodologi baru dikembangkan yang membantu meningkatkan kualitas hidup, termasuk hal-hal seperti mobil dan konstruksi modern.

Ketergantungan masyarakat pada teknologi menunjukkan pentingnya fisika dalam kehidupan sehari-hari. Banyak aspek dari masyarakat modern yang tidak akan mungkin terjadi tanpa penemuan-penemuan ilmiah penting yang dibuat di masa lalu. Penemuan-penemuan ini menjadi fondasi yang menjadi dasar pengembangan teknologi saat ini. Penemuan-penemuan seperti magnetisme, listrik, konduktor, dan lainnya memungkinkan terciptanya berbagai kemudahan modern, seperti televisi, komputer, telepon, dan teknologi bisnis dan rumah tangga lainnya. Alat transportasi modern, seperti pesawat terbang dan telekomunikasi, telah mendekatkan orang-orang di seluruh dunia - semuanya mengandalkan konsep-konsep fisika (Salim & Taib, 2018).

Sejarah Perkembangan Ilmu Fisika

Sejarah fisika dimulai pada tahun sekitar 2400 SM, ketika kebudayaan Harappan menggunakan suatu benda untuk memperkirakan dan menghitung sudut bintang di angkasa. Sejak saat itu fisika terus berkembang sampai ke level sekarang. Perkembangan ini tidak hanya membawa perubahan di dalam bidang dunia benda, matematika dan filosofi namun juga, melalui teknologi, membawa perubahan ke dunia sosial masyarakat. Revolusi ilmu yang berlangsung terjadi pada sekitar tahun 1600 dapat dikatakan menjadi batas antara pemikiran purba dan lahirnya fisika klasik. Dan akhirnya berlanjut ke tahun 1900 yang menandakan mulai berlangsungnya era baru yaitu era fisika modern. Di era ini ilmuwan tidak melihat adanya penyempurnaan di bidang ilmu pengetahuan, pertanyaan demi pertanyaan terus bermunculan tanpa henti, dari luasnya galaksi, sifat alami dari kondisi vakum sampai lingkungan subatomik. Daftar persoalan dimana fisikawan harus pecahkan terus bertambah dari waktu ke waktu.

Sejarah perkembangan ilmu fisika atau ilmu tentang alam dalam makna yang terluas. Fisika mempelajari gejala alam yang tidak hidup atau materi dalam lingkup ruang dan waktu. Fisikawan mempelajari perilaku dan sifat materi dalam bidang yang sangat beragam, mulai dari partikel submikroskopis yang membentuk segala materi (fisika partikel) hingga perilaku materi alam semesta sebagai satu kesatuan kosmos. Beberapa sifat yang dipelajari dalam fisika merupakan sifat yang ada dalam semua sistem materi yang ada, seperti hukum kekekalan energi. Sifat semacam ini sering disebut sebagai hukum fisika. Fisika sering disebut sebagai “ilmu paling mendasar”, karena

setiap ilmu alam lainnya (biologi, kimia, geologi, dan lain-lain) mempelajari jenis sistem materi tertentu yang mematuhi hukum fisika. Misalnya, kimia adalah ilmu tentang molekul dan zat kimia yang dibentuknya. Sifat suatu zat kimia ditentukan oleh sifat molekul yang membentuknya, yang dapat dijelaskan oleh ilmu fisika seperti mekanika kuantum, termodinamika, dan elektromagnetika (Dasar, 2002).

Menurut **Richtmeyer**, sejarah perkembangan ilmu fisika dibagi dalam empat periode yaitu:

1. Periode Pertama,

Dimulai dari zaman prasejarah sampai tahun 1550 an. Pada periode pertama ini dikumpulkan berbagai fakta fisis yang dipakai untuk membuat perumusan empirik. Dalam periode pertama ini belum ada penelitian yang sistematis. Beberapa penemuan pada periode ini diantaranya:

2400000 SM – 599 SM: Di bidang astronomi sudah dihasilkan Kalender Mesir dengan 1 tahun = 365 hari, prediksi gerhana, jam matahari, dan katalog bintang. Dalam Teknologi sudah ada peleburan berbagai logam, pembuatan roda, teknologi bangunan (piramid), standar berat, pengukuran, koin (mata uang).

600 SM – 530 M: Perkembangan ilmu dan teknologi sangat terkait dengan perkembangan matematika. Dalam bidang Astronomi sudah ada pengamatan tentang gerak benda langit (termasuk bumi), jarak dan ukuran benda langit. Dalam bidang sains fisik Physical Science, sudah ada Hipotesis Democritus bahwa materi terdiri dari atom-atom. Archimedes memulai tradisi “Fisika Matematika” untuk menjelaskan tentang katrol, hukum-hukum hidrostatika dan lain-lain. Tradisi Fisika Matematika berlanjut sampai sekarang.

530 M – 1450 M: Mundurnya tradisi sains di Eropa dan pesatnya perkembangan sains di Timur Tengah. Dalam kurun waktu ini terjadi Perkembangan Kalkulus. Dalam bidang Astronomi ada “Almagest” karya Ptolomeous yang menjadi teks standar untuk astronomi, teknik observasi berkembang, trigonometri sebagai bagian dari kerja astronomi berkembang. Dalam Sains Fisik, Aristoteles berpendapat bahwa gerak bisa terjadi jika ada yang mendorong secara terus menerus; kemagnetan berkembang ; Eksperimen optika berkembang, ilmu Kimia berkembang (Alchemy).

1450 M- 1550: Ada publikasi teori heliosentris dari Copernicus yang menjadi titik penting dalam revolusi saintifik. Sudah ada arah penelitian yang sistematis

(Aini & Alam, 2020)

2. Periode Kedua

Dimulai dari tahun 1550an sampai tahun 1800an. Pada periode kedua ini mulai dikembangkan metoda penelitian yang sistematis dengan Galileo dikenal sebagai pencetus metoda saintifik dalam penelitian. Hasil-hasil yang didapatkan antara lain:

Kerja sama antara eksperimentalis dan teoritis menghasilkan teori baru pada gerak planet. Newton: meneruskan kerja Galileo terutama dalam bidang mekanika menghasilkan hukum-hukum gerak yang sampai sekarang masih dipakai. Dalam Mekanika selain Hukum-hukum Newton dihasilkan pula Persamaan Bernoulli, Teori Kinetik Gas, Vibrasi Transversal dari Batang, Kekekalan Momentum Sudut, Persamaan Lagrange. Dalam Fisika Panas ada penemuan termometer, azas Black, dan Kalorimeter. Dalam Gelombang Cahaya ada penemuan aberasi dan pengukuran kelajuan cahaya. Dalam Kelistrikan ada klasifikasi konduktor dan nonkonduktor, penemuan elektroskop, pengembangan teori arus listrik yang serupa dengan teori penjalaran panas dan Hukum Coulomb.

3. Periode Ketiga

Dimulai dari tahun 1800an sampai 1890an. Pada periode ini diformulasikan konsep-konsep fisika yang mendasar yang sekarang kita kenal dengan sebutan Fisika Klasik. Dalam periode ini Fisika berkembang dengan pesat terutama dalam mendapatkan formulasi-formulasi umum dalam Mekanika, Fisika Panas, Listrik-Magnet dan Gelombang, yang masih terpakai sampai saat ini. Dalam Mekanika diformulasikan Persamaan Hamiltonian (yang kemudian dipakai dalam Fisika Kuantum), Persamaan gerak benda tegar, teori elastisitas, hidrodinamika. Dalam Fisika Panas diformulasikan Hukum-hukum termodinamika, teori kinetik gas, penjalaran panas dan lain-lain. Dalam Listrik-Magnet diformulasikan Hukum Ohm, Hukum Faraday, Teori Maxwell dan lain-lain. Dalam Gelombang diformulasikan teori gelombang cahaya, prinsip interferensi, difraksi dan lain-lain.

4. Periode Keempat

Dimulai dari tahun 1890an sampai sekarang. Pada akhir abad ke 19 ditemukan beberapa fenomena yang tidak bisa dijelaskan melalui fisika klasik. Hal ini menuntut pengembangan konsep fisika yang lebih mendasar lagi yang sekarang disebut Fisika Modern. Dalam periode ini dikembangkan teori-teori yang lebih umum yang dapat mencakup masalah yang berkaitan dengan kecepatan yang sangat tinggi (relativitas) atau/dan yang berkaitan dengan partikel yang sangat kecil (teori kuantum).

Teori Relativitas yang dipelopori oleh Einstein menghasilkan beberapa hal diantaranya adalah kesetaraan massa dan energi $E=mc^2$ yang dipakai sebagai salah satu prinsip dasar dalam transformasi partikel. Teori Kuantum, yang diawali oleh karya Planck dan Bohr dan kemudian dikembangkan oleh Schroedinger, Pauli, Heisenberg dan lain-lain, melahirkan teori-teori tentang atom, inti, partikel sub atomik, molekul, zat padat yang sangat besar perannya dalam pengembangan ilmu dan teknologi.

Pada awal abad 17, Galileo membuka penggunaan eksperimen untuk memastikan kebenaran teori fisika, yang merupakan kunci dari metode sains. Galileo memformulasikan dan berhasil mengetes beberapa hasil dari dinamika mekanik, terutama Hukum Inert. Pada 1687, Isaac Newton menerbitkan *Filosofi Natural Prinsip Matematika*, memberikan penjelasan yang jelas dan teori fisika yang sukses: Hukum gerak Newton, yang merupakan sumber dari mekanika klasik; dan Hukum Gravitasi Newton, yang menjelaskan gaya dasar gravitasi. Kedua teori ini cocok dalam eksperimen. Prinsipia juga memasukan beberapa teori dalam dinamika fluid. Mekanika klasik dikembangkan besar-besaran oleh Joseph-Louis de Lagrange, William Rowan Hamilton, dan lainnya, yang menciptakan formula, prinsip, dan hasil baru. Hukum Gravitasi memulai bidang astrofisika, yang menggambarkan fenomena astronomi menggunakan teori fisika (Bunge, 1973; Butterfield & Earman, 2007).

Sejak abad 18 dan seterusnya, termodinamika dikembangkan oleh Robert Boyle, Thomas Young, dan banyak lainnya. Pada 1733, Daniel Bernoulli menggunakan argumen statistika dalam mekanika klasik untuk menurunkan hasil termodinamika, memulai bidang mekanika statistik. Pada 1798, Benjamin Thompson mempertunjukkan konversi kerja mekanika ke dalam panas, dan pada 1847 James Joule menyatakan hukum konservasi energi, dalam bentuk panas dan juga dalam energi mekanika. Budaya penelitian fisika berbeda dengan ilmu lainnya karena adanya pemisahan teori dan eksperimen. Sejak abad

kedua puluh, kebanyakan fisikawan perseorangan mengkhhususkan diri meneliti dalam fisika teoritis atau fisika eksperimental saja, dan pada abad kedua puluh, sedikit saja yang berhasil dalam kedua bidang tersebut. Sebaliknya, hampir semua teoritis dalam biologi dan kimia juga merupakan eksperimentalis yang sukses.

Meskipun fisika membahas beraneka ragam sistem, ada beberapa teori yang digunakan secara keseluruhan dalam fisika, bukan di satu bidang saja. Setiap teori ini diyakini benar adanya, dalam wilayah kesahihan tertentu. Contohnya, teori mekanika klasik dapat menjelaskan pergerakan benda dengan tepat, asalkan benda ini lebih besar daripada atom dan bergerak dengan kecepatan jauh lebih lambat daripada kecepatan cahaya. Teori-teori ini masih terus diteliti; contohnya, aspek mengagumkan dari mekanika klasik yang dikenal sebagai teori chaos ditemukan pada abad kedua puluh, tiga abad setelah dirumuskan oleh Isaac Newton. Namun, hanya sedikit fisikawan yang menganggap teori-teori dasar ini menyimpang. Oleh karena itu, teori-teori tersebut digunakan sebagai dasar penelitian menuju topik yang lebih khusus, dan semua pelaku fisika, apa pun spesialisasinya, diharapkan memahami teori-teori tersebut (Aalst, 2000).

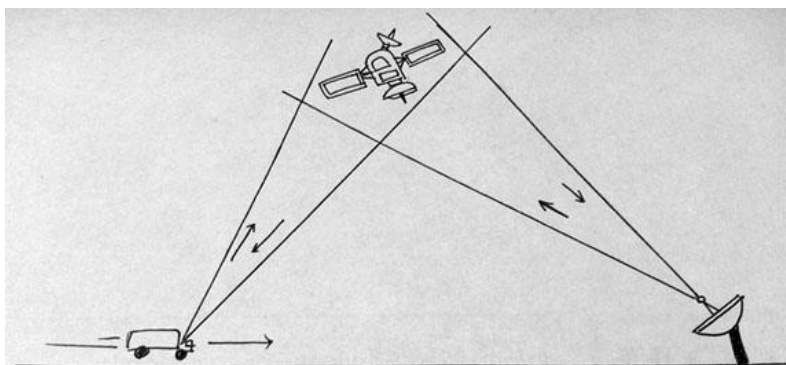
Konsep Utama dalam Ilmu Fisika

Fisika adalah ilmu pengetahuan alam yang melibatkan studi tentang materi dan gerakannya melalui ruang dan waktu, bersama dengan konsep-konsep terkait seperti energi dan gaya. Secara lebih luas, fisika adalah ilmu yang mempelajari alam dalam upaya untuk memahami bagaimana alam semesta berperilaku. Fisika menggunakan metode ilmiah untuk membantu mengungkap prinsip-prinsip dasar yang mengatur cahaya dan materi, dan untuk menemukan implikasi dari hukum-hukum tersebut. Fisika mengasumsikan bahwa ada aturan-aturan yang mengatur fungsi alam semesta, dan hukum-hukum tersebut setidaknya dapat dipahami sebagian oleh manusia. Hukum-hukum tersebut juga diyakini dapat digunakan untuk memprediksi segala sesuatu tentang masa depan alam semesta jika tersedia informasi lengkap tentang kondisi cahaya dan materi saat ini (Dasar, 2002; Siregar, 2018).

Materi umumnya dianggap sebagai segala sesuatu yang memiliki massa dan volume. Banyak konsep yang tidak terpisahkan dari studi fisika klasik yang melibatkan teori dan hukum yang menjelaskan materi dan geraknya. Hukum kekekalan massa, misalnya, menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Oleh karena itu, eksperimen dan perhitungan lebih lanjut dalam fisika

mempertimbangkan hukum ini ketika merumuskan hipotesis untuk mencoba menjelaskan fenomena alam.

Fisika bertujuan untuk menjelaskan fungsi segala sesuatu di sekitar kita, mulai dari pergerakan partikel bermuatan kecil hingga gerakan orang, mobil, dan pesawat ruang angkasa. Faktanya, hampir semua yang ada di sekitar Anda dapat dijelaskan dengan cukup akurat oleh hukum fisika. Pertimbangkan sebuah ponsel pintar; fisika menjelaskan bagaimana listrik berinteraksi dengan berbagai sirkuit di dalam perangkat. Pengetahuan ini membantu para insinyur memilih bahan dan tata letak sirkuit yang sesuai saat membuat ponsel pintar. Selanjutnya, pertimbangkan sistem GPS; fisika menjelaskan hubungan antara kecepatan sebuah objek, jarak yang ditempuh, dan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut. Ketika Anda menggunakan perangkat GPS dalam kendaraan, perangkat ini menggunakan persamaan fisika ini untuk menentukan waktu tempuh dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Studi fisika mampu memberikan kontribusi yang signifikan melalui kemajuan teknologi baru yang muncul dari terobosan teoritis.



Sumber: <https://www.rewiresecurity.co.uk>

Global Positioning System: GPS menghitung kecepatan sebuah objek, jarak yang ditempuh, dan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut menggunakan persamaan berdasarkan hukum fisika.

Fisika adalah dasar dari banyak disiplin ilmu dan berkontribusi langsung pada kimia, astronomi, teknik, dan sebagian besar bidang ilmiah. Fisika adalah dasar dari banyak disiplin ilmu penting dan berkontribusi langsung pada disiplin ilmu lainnya. Kimia berurusan dengan interaksi atom dan molekul, sehingga berakar pada fisika atom dan molekul. Sebagian besar cabang teknik adalah fisika terapan. Dalam arsitektur, fisika merupakan inti dari stabilitas struktural dan

terlibat dalam akustik, pemanasan, pencahayaan, dan pendinginan bangunan. Bagian-bagian geologi sangat bergantung pada fisika, seperti penanggalan radioaktif batuan, analisis gempa bumi, dan perpindahan panas di Bumi. Beberapa disiplin ilmu, seperti biofisika dan geofisika, merupakan perpaduan antara fisika dan disiplin ilmu lainnya.

Model, Teori, dan Hukum

Istilah model, teori, dan hukum memiliki arti yang tepat dalam kaitannya dengan penggunaannya dalam studi fisika. Dalam penggunaan sehari-hari, istilah model, teori, dan hukum sering digunakan secara bergantian atau memiliki interpretasi yang berbeda dengan yang ada di dalam ilmu pengetahuan. Namun, dalam kaitannya dengan studi fisika, setiap istilah memiliki arti khusus.

Hukum alam adalah deskripsi ringkas tentang alam semesta di sekitar kita. Hukum alam bukanlah penjelasan, melainkan pernyataan manusia tentang aturan-aturan yang mendasari semua proses alam. Hukum-hukum ini bersifat intrinsik bagi alam semesta; manusia tidak menciptakannya dan kita tidak dapat mengubahnya. Kita hanya dapat menemukan dan memahaminya. Landasan untuk menemukan hukum alam adalah observasi; sains harus menggambarkan alam semesta sebagaimana adanya, bukan seperti yang kita bayangkan. Hukum tidak akan pernah bisa diketahui dengan kepastian mutlak, karena tidak mungkin melakukan eksperimen untuk menetapkan dan mengonfirmasi hukum dalam setiap skenario yang mungkin terjadi tanpa terkecuali. Fisikawan bekerja dengan asumsi bahwa semua hukum dan teori ilmiah berlaku hingga ada contoh tandingannya. Jika eksperimen berkualitas baik dan dapat diverifikasi bertentangan dengan hukum yang sudah mapan, maka hukum tersebut harus dimodifikasi atau digulingkan sepenuhnya (Wieman & Perkins, 2005).

Models

Model adalah representasi dari sesuatu yang sering kali terlalu sulit (atau tidak mungkin) untuk ditampilkan secara langsung. Meskipun desain model dibenarkan dengan menggunakan informasi eksperimental, model hanya akurat dalam situasi yang terbatas. Contohnya adalah "model planet" atom yang umum digunakan, di mana elektron digambarkan mengorbit inti, analog dengan cara planet mengorbit Matahari. Kita tidak dapat mengamati orbit elektron secara langsung, tetapi gambaran mental membantu menjelaskan pengamatan

yang dapat kita lakukan, seperti pancaran cahaya dari gas panas. Fisikawan menggunakan model untuk berbagai tujuan.

Teori

Teori adalah penjelasan tentang pola-pola di alam yang didukung oleh bukti ilmiah dan diverifikasi berkali-kali oleh berbagai kelompok peneliti. Beberapa teori menyertakan model untuk membantu memvisualisasikan fenomena, sedangkan yang lainnya tidak. Teori gravitasi Newton, misalnya, tidak memerlukan model atau gambaran mental, karena kita dapat mengamati objek secara langsung dengan indera kita sendiri. Teori kinetik gas, di sisi lain, menggunakan model di mana gas dipandang terdiri dari atom dan molekul. Atom dan molekul terlalu kecil untuk diamati secara langsung dengan indera kita-oleh karena itu, kita membayangkannya secara mental untuk memahami apa yang dikatakan oleh instrumen kita tentang perilaku gas.

Hukum

Hukum menggunakan bahasa yang ringkas untuk menggambarkan pola umum di alam yang didukung oleh bukti ilmiah dan eksperimen berulang. Sering kali, sebuah hukum dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan matematika tunggal. Hukum dan teori memiliki kesamaan dalam hal keduanya merupakan pernyataan ilmiah yang dihasilkan dari hipotesis yang telah teruji dan didukung oleh bukti ilmiah. Namun, sebutan hukum diperuntukkan bagi pernyataan ringkas dan sangat umum yang menggambarkan fenomena di alam, seperti hukum yang menyatakan bahwa energi dilestarikan selama proses apa pun, atau hukum kedua Newton tentang gerak, yang menghubungkan gaya, massa, dan akselerasi dengan persamaan sederhana $F = m \cdot a$. Sebaliknya, sebuah teori adalah pernyataan yang kurang ringkas tentang fenomena yang diamati. Sebagai contoh, Teori Evolusi dan Teori Relativitas tidak dapat diekspresikan dengan cukup ringkas untuk dianggap sebagai sebuah hukum. Perbedaan terbesar antara hukum dan teori adalah bahwa hukum jauh lebih kompleks dan dinamis, dan teori lebih bersifat menjelaskan. Hukum menjelaskan satu titik fakta yang dapat diamati, sedangkan teori menjelaskan seluruh kelompok fenomena terkait. Dan, jika hukum adalah dalil yang menjadi dasar metode ilmiah, teori adalah hasil akhir dari proses tersebut.

Istilah-istilah kunci

1. materi: Komponen struktural dasar alam semesta. Materi biasanya memiliki massa dan volume.

2. metode ilmiah: Sebuah metode untuk menemukan pengetahuan tentang dunia alam yang didasarkan pada pembuatan prediksi (hipotesis) yang dapat dibuktikan kebenarannya, mengujinya secara empiris, dan mengembangkan teori-teori yang telah ditelaah yang dapat menjelaskan data yang telah diketahui.
3. penerapan: tindakan menerapkan sesuatu ke dalam operasi
4. Model: Representasi dari sesuatu yang sulit atau tidak mungkin ditampilkan secara langsung
5. Hukum: Deskripsi ringkas, biasanya dalam bentuk persamaan matematika, yang digunakan untuk menggambarkan pola di alam
6. Teori: Penjelasan tentang pola-pola di alam yang didukung oleh bukti ilmiah dan diverifikasi berkali-kali oleh berbagai kelompok peneliti

Pengukuran

Seperti semua ilmu pengetahuan lainnya, fisika didasarkan pada pengamatan eksperimental dan pengukuran kuantitatif. Tujuan utama fisika adalah untuk menemukan sejumlah hukum dasar yang mengatur fenomena alam dan menggunakannya untuk mengembangkan teori yang dapat memprediksi hasil eksperimen di masa depan. Hukum-hukum dasar yang digunakan dalam mengembangkan teori diekspresikan dalam bahasa matematika, alat yang menjembatani antara teori dan eksperimen. Ketika ketidaksesuaian antara teori dan eksperimen muncul, teori baru harus dirumuskan untuk menghilangkan ketidaksesuaian tersebut. Seringkali sebuah teori hanya memuaskan dalam kondisi yang terbatas; teori yang lebih umum mungkin memuaskan tanpa batasan seperti itu. Sebagai contoh, hukum gerak yang ditemukan oleh Isaac Newton (1642-1727) pada abad ke-17 secara akurat menggambarkan gerak benda pada kecepatan normal tetapi tidak berlaku untuk benda-benda yang bergerak pada kecepatan yang sebanding dengan kecepatan cahaya. Sebaliknya, teori relativitas khusus yang dikembangkan oleh Albert Einstein (1879-1955) pada awal tahun 1900-an memberikan hasil yang sama dengan hukum-hukum Newton pada kecepatan rendah, tetapi juga secara tepat menggambarkan gerakan pada kecepatan yang mendekati kecepatan cahaya. Oleh karena itu, teori Einstein adalah teori gerak yang lebih umum.

Fisika klasik, yang berarti semua fisika yang dikembangkan sebelum tahun 1900, mencakup teori, konsep, hukum, dan eksperimen dalam

mekanika klasik, termodinamika, dan elektromagnetisme. Kontribusi penting untuk fisika klasik diberikan oleh Newton, yang mengembangkan mekanika klasik sebagai teori sistematis dan merupakan salah satu pencetus kalkulus sebagai alat matematika. Perkembangan besar dalam mekanika berlanjut pada abad ke-18, tetapi bidang termodinamika serta listrik dan magnet tidak berkembang hingga akhir abad ke-19, terutama karena sebelum waktu itu peralatan untuk eksperimen terkontrol terlalu kasar atau tidak tersedia (Seroglou & Koumaras, 2001).

Era baru dalam fisika, yang biasanya disebut sebagai fisika modern, dimulai menjelang akhir abad ke-19. Fisika modern berkembang terutama karena ditemukannya banyak fenomena fisika yang tidak dapat dijelaskan oleh fisika klasik. Dua perkembangan terpenting dalam fisika modern adalah teori relativitas dan mekanika kuantum. Teori relativitas Einstein merevolusi konsep tradisional tentang ruang, waktu, dan energi; mekanika kuantum, yang berlaku untuk dunia mikroskopis dan makroskopis, pada awalnya diformulasikan oleh sejumlah ilmuwan terkemuka untuk memberikan deskripsi fenomena fisik pada tingkat atom.

Para ilmuwan terus berupaya meningkatkan pemahaman kita tentang fenomena dan hukum-hukum fundamental, dan penemuan-penemuan baru dibuat setiap hari. Di banyak bidang penelitian, banyak terjadi tumpang tindih antara fisika, kimia, geologi, dan biologi, serta teknik. Beberapa perkembangan yang paling menonjol adalah (1) berbagai misi luar angkasa dan pendaratan astronot di Bulan, (2) sirkuit mikro dan komputer berkecepatan tinggi, dan (3) teknik pencitraan canggih yang digunakan dalam penelitian ilmiah dan kedokteran. Dampak dari perkembangan dan penemuan tersebut terhadap masyarakat kita memang luar biasa, dan kemungkinan besar penemuan dan perkembangan di masa depan akan sama menarik dan menantang, serta sangat bermanfaat bagi umat manusia.

Standar Panjang, Massa, dan Waktu

Hukum fisika dinyatakan dalam bentuk besaran dasar yang memerlukan definisi yang jelas. Dalam mekanika, tiga besaran dasar adalah panjang (L), massa (M), dan waktu (T). Semua besaran lain dalam mekanika dapat dinyatakan dalam tiga besaran ini.

Jika kita ingin melaporkan hasil pengukuran kepada seseorang yang ingin mereproduksi pengukuran ini, sebuah standar harus didefinisikan. Tidak ada artinya jika seorang pengunjung dari planet lain berbicara

kepada kita tentang panjang 8 "gangguan" jika kita tidak tahu arti dari satuan gangguan. Di sisi lain, jika seseorang yang terbiasa dengan sistem pengukuran kita melaporkan bahwa sebuah dinding memiliki tinggi 2 meter dan satuan panjang kita didefinisikan sebagai 1 meter, kita tahu bahwa tinggi dinding tersebut adalah dua kali lipat dari satuan panjang dasar kita. Demikian juga, jika kita diberitahu bahwa seseorang memiliki massa 75 kilogram dan satuan massa kita didefinisikan sebagai 1 kilogram, maka orang tersebut 75 kali lebih besar dari satuan dasar kita.1 Apa pun yang dipilih sebagai standar harus dapat diakses dengan mudah dan memiliki sifat yang dapat diukur dengan andal-pengukuran yang dilakukan oleh orang yang berbeda di tempat yang berbeda harus memberikan hasil yang sama. Pada tahun 1960, sebuah komite internasional menetapkan seperangkat standar untuk panjang, massa, dan besaran dasar lainnya. Sistem yang ditetapkan merupakan adaptasi dari sistem metrik, dan disebut sistem satuan SI. (Singkatan SI berasal dari nama sistem dalam bahasa Prancis, yaitu "Système International.") Dalam sistem ini, satuan panjang, massa, dan waktu masing-masing adalah meter, kilogram, dan detik. Standar SI lainnya yang ditetapkan oleh komite adalah standar untuk suhu (kelvin), arus listrik (ampere), intensitas cahaya (candela), dan jumlah zat (mol). Dalam pelajaran mekanika, kita hanya akan membahas satuan panjang, massa, dan waktu.

Panjang

Pada tahun 1120 M, raja Inggris menetapkan bahwa standar panjang di negaranya akan dinamai yard dan akan sama persis dengan jarak dari ujung hidung ke ujung lengan yang terentang. Demikian pula, standar asli untuk kaki yang diadopsi oleh Prancis adalah panjang kaki Raja Louis XIV. Standar ini berlaku hingga tahun 1799, ketika standar panjang yang sah di Prancis menjadi meter, yang didefinisikan sebagai sepersepuluh juta jarak dari khatulistiwa ke Kutub Utara di sepanjang satu garis memanjang yang melewati Paris. Banyak sistem lain untuk mengukur panjang telah dikembangkan selama bertahun-tahun, tetapi keunggulan sistem Prancis telah menyebabkannya berlaku di hampir semua negara dan di kalangan ilmiah di mana-mana. Baru-baru ini pada tahun 1960, panjang meteran didefinisikan sebagai jarak antara dua garis pada batang platina-iridium tertentu yang disimpan dalam kondisi yang terkendali di Prancis. Standar ini ditinggalkan karena beberapa alasan, salah satu alasan utamanya adalah akurasi yang terbatas untuk menentukan jarak antara garis-garis pada batang tidak memenuhi persyaratan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini. Pada tahun 1960-an dan 1970-an, meteran didefinisikan sebagai 1.650.763,73 panjang

gelombang cahaya oranye-merah yang dipancarkan dari lampu kripton-86. Namun demikian, pada bulan Oktober 1983, meter (m) didefinisikan ulang sebagai jarak yang ditempuh oleh cahaya dalam ruang hampa udara selama waktu $1/299.792.458$ detik. Pada dasarnya, definisi terbaru ini menetapkan bahwa kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara secara tepat adalah $299.792.458$ m per detik.

Massa

Satuan dasar SI untuk massa, kilogram (kg), didefinisikan sebagai massa silinder paduan platina-iridium tertentu yang disimpan di Biro Berat dan Ukuran Internasional di Sèvres, Prancis. Standar massa ini ditetapkan pada tahun 1887 dan belum pernah diubah sejak saat itu karena platina-iridium merupakan paduan yang sangat stabil (Gbr. 1.1a). Duplikat silinder Sèvres disimpan di National Institute of Standards and Technology (NIST) di Gaithersburg, Maryland. Tabel 1.2 mencantumkan nilai perkiraan massa berbagai benda. Waktu Sebelum tahun 1960, standar waktu didefinisikan dalam istilah hari matahari rata-rata untuk tahun 1900.2 Detik matahari rata-rata pada awalnya didefinisikan sebagai hari matahari rata-rata. Rotasi Bumi sekarang diketahui sedikit berbeda dari waktu ke waktu, dan oleh karena itu, gerakan ini tidak cocok digunakan untuk menentukan standar. Oleh karena itu, pada tahun 1967, detik didefinisikan ulang untuk memanfaatkan presisi tinggi yang dapat diperoleh dalam perangkat yang dikenal sebagai jam atom (Gbr. 1.1b). Dalam perangkat ini, frekuensi yang terkait dengan transisi atom tertentu dapat diukur dengan ketepatan satu bagian dalam 10¹². Ini setara dengan ketidakpastian kurang dari satu detik setiap 30.000 tahun. Dengan demikian, pada tahun 1967 satuan waktu SI, detik, didefinisikan ulang dengan menggunakan frekuensi karakteristik dari jenis atom cesium tertentu sebagai "jam referensi". Satuan waktu dasar SI, sekon (s), didefinisikan sebagai 9.192.631.770 kali periode getaran radiasi dari atom cesium-133.3 Untuk mempertahankan jam atom ini-dan oleh karena itu, semua jam umum dan

dan jam tangan yang disetel ke jam atom ini tetap tersinkronisasi, terkadang perlu menambahkan detik kabisat pada jam kita. Ini bukanlah ide baru. Pada tahun 46 SM, Julius Caesar memulai praktik penambahan hari ekstra pada kalender selama tahun kabisat sehingga musim terjadi pada tanggal yang sama setiap tahunnya. Sejak penemuan Einstein tentang hubungan antara ruang dan waktu, pengukuran interval waktu yang tepat mengharuskan kita untuk mengetahui kondisi gerak jam yang digunakan untuk mengukur interval dan, dalam beberapa kasus, lokasi jam juga. Jika tidak, misalnya, satelit

sistem pemosisian global mungkin tidak dapat menentukan lokasi Anda dengan akurasi yang memadai, jika Anda perlu diselamatkan. Perkiraan nilai interval waktu disajikan dalam Tabel 1.3. Selain SI, sistem satuan lain, sistem teknik Inggris (kadang-kadang disebut sistem konvensional), masih digunakan di Amerika Serikat meskipun SI telah diterima oleh seluruh dunia. Dalam sistem ini, satuan panjang, massa, dan

waktu adalah kaki (ft), siput, dan detik. Dalam teks ini, kami akan menggunakan satuan SI karena satuan ini hampir diterima secara universal dalam ilmu pengetahuan dan industri. Kita akan menggunakan satuan teknik Inggris secara terbatas dalam mempelajari mekanika klasik. Selain satuan SI dasar meter, kilogram, dan sekon, kita juga dapat menggunakan satuan lain, seperti milimeter dan nanodetik, di mana awalan mili dan nano menunjukkan berbagai pangkat sepuluh. Beberapa awalan yang paling sering digunakan untuk berbagai pangkat sepuluh dan singkatannya tercantum dalam Tabel 1.4. Untuk

Sistem Satuan Internasional

Sistem Satuan Internasional (SI), bahasa Prancis *Système International d'Unités*, sistem desimal internasional untuk bobot dan ukuran yang berasal dari dan memperluas sistem satuan metrik. Diadopsi oleh Konferensi Umum tentang Berat dan Ukuran (CGPM) ke-11 pada tahun 1960, sistem ini disingkat SI dalam semua bahasa.

Kemajuan pesat dalam ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-19 dan ke-20 mendorong pengembangan beberapa sistem unit pengukuran yang tumpang tindih karena para ilmuwan berimprovisasi untuk memenuhi kebutuhan praktis disiplin ilmu mereka. Sistem internasional awal yang dirancang untuk memperbaiki situasi ini disebut sistem meter-kilogram-detik (MKS). CGPM menambahkan tiga satuan baru (antara lain) pada tahun 1948: satuan gaya (newton), yang didefinisikan sebagai gaya yang memberikan akselerasi satu meter per detik pada massa satu kilogram per detik; satuan energi (joule), yang didefinisikan sebagai kerja yang dilakukan saat titik penerapan newton bergeser sejauh satu meter ke arah gaya tersebut; dan satuan daya (watt), yang merupakan daya yang dalam satu detik menghasilkan energi satu joule. Ketiga satuan tersebut dinamai sesuai dengan nama ilmuwan terkemuka.

Memahami konsep satuan turunan dari pengukuran

Sistem Internasional 1960 dibangun berdasarkan sistem MKS. Tujuh satuan dasarnya, yang darinya satuan-satuan lain diturunkan, didefinisikan sebagai berikut: untuk panjang, meter, didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh cahaya dalam ruang hampa dalam $1/299.792.458$ detik; untuk massa, kilogram, yang setara dengan 1.000 gram seperti yang didefinisikan oleh prototipe internasional kilogram platinum-iridium yang disimpan oleh International Bureau of Weights and Measures di Sèvres, Prancis; untuk waktu, sekon, durasi $9.192.631.770$ periode radiasi yang terkait dengan transisi tertentu dari atom sesium-133; untuk arus listrik, ampere, yang merupakan arus yang, jika dipertahankan dalam dua kawat yang ditempatkan terpisah satu meter dalam ruang hampa udara, akan menghasilkan gaya 2×10^{-7} newton per meter panjangnya; untuk intensitas cahaya, candela, yang didefinisikan sebagai intensitas pada arah tertentu dari sumber yang memancarkan radiasi dengan frekuensi 540×10^{12} hertz dan memiliki intensitas radiasi pada arah tersebut sebesar $1/683$ watt per steradian; untuk jumlah zat, mol, yang didefinisikan sebagai jumlah entitas elementer suatu zat sebanyak jumlah atom dalam $0,012$ kg karbon-12; dan untuk jumlah zat, mol, yang didefinisikan sebagai jumlah entitas elementer suatu zat sebanyak $0,012$ kg karbon-12. 012 kg karbon-12; dan untuk suhu termodinamika, kelvin.

Pada tanggal 20 Mei 2019, CGPM mendefinisikan ulang kilogram, ampere, mol, dan kelvin dalam hal konstanta fisika fundamental. Untuk kilogram, konstanta yang dipilih adalah konstanta Planck, yang didefinisikan sama dengan $6,62607015 \times 10^{-34}$ joule detik. Satu joule sama dengan satu kilogram dikalikan meter kuadrat per detik kuadrat. Karena sekon dan meter sudah ditentukan, maka kilogram akan ditentukan oleh pengukuran yang akurat dari konstanta Planck. Ampere didefinisikan ulang sedemikian rupa sehingga muatan dasar sama dengan $1,602176634 \times 10^{-19}$ coulomb. Kelvin didefinisikan ulang sehingga konstanta Boltzmann sama dengan $1,380649 \times 10^{-23}$ joule per kelvin, dan mol didefinisikan ulang sehingga konstanta Avogadro sama dengan $6,02214076 \times 10^{23}$ per mol.

Satuan yang banyak digunakan dalam sistem SI

Daftar satuan yang banyak digunakan dalam sistem SI disediakan dalam tabel.

International System of Units (SI)				
	unit	abbreviation		physical quantity
Base units	metre	m		length
	second	s		time
	kilogram	kg		mass
	ampere	A		electric current
	kelvin	K		thermodynamic temperature
	candela	cd		luminous intensity
	mole	mol		amount of substance
	unit	abbreviation	number of metres	approximate U.S. equivalent
Length	kilometre	km	1,000	0.62 mile
	centimetre	cm	0.01	0.39 inch
	millimetre	mm	0.001	0.039 inch
	micrometre	µm	0.000001	0.000039 inch

	nanometre	nm	0.000000001	0.000000039 inch
	unit	abbreviation	number of square metres	approximate U.S. equivalent
Area	square kilometre	sq km, or km ²	1,000,000	0.3861 square mile
	hectare	ha	10,000	2.47 acres
	are	a	100	119.60 square yards
	square centimetre	sq cm, or cm ²	0.0001	0.155 square inch
	unit	abbreviation	number of cubic metres	approximate U.S. equivalent
Volume	cubic metre	m ³	1	1.307 cubic yards
	cubic centimetre	cu cm, cm ³ , or cc	0.000001	0.061 cubic inch
	unit	abbreviation	number of litres	approximate U.S. equivalent
Capacity	kilolitre	kl	1,000	1.31 cubic yards
	litre	l	1	61.02 cubic inches
	centilitre	cl	0.01	0.61 cubic inch

	millilitre	ml	0.001	0.061 cubic inch
	microlitre	μl	0.000001	0.000061 cubic inch
	unit	abbreviation	number of grams	approximate U.S. equivalent
Mass and weight	metric ton	t	1,000,000	1.102 short tons
	gram	g	1	0.035 ounce
	centigram	cg	0.01	0.154 grain
	milligram	mg	0.001	0.015 grain
	microgram	μg	0.000001	0.000015 grain
	unit	symbol	physical quantity	expressed in base units
Energy	hertz	Hz	frequency	1/s
	newton	N	force, weight	(m × kg)/s ²
	joule	J	work, energy, quantity of heat	(m ² × kg)/s ²
	pascal	Pa	pressure, stress	kg/(m × s ²)
	watt	W	power	(m ² × kg)/s ³

coulomb	C	electric charge	$s \times A$
volt	V	electric potential difference	$(m^2 \times kg)/(s^3 \times A)$
farad	F	electric capacitance	$(s^2 \times s^2 \times A^2)/(m^2 \times kg)$
ohm	Ω	electric resistance, reactance	$(m^2 \times kg)/(s^3 \times A^2)$
siemens	S	electric conductance	$(s^3 \times A^2)/(m^2 \times kg)$
weber	Wb	magnetic flux	$(m^2 \times kg)/(s^2 \times A)$
tesla	T	magnetic induction	$kg/(s^2 \times A)$
henry	H	inductance	$(m^2 \times kg)/(s^2 \times A^2)$
lumen	lm	luminous flux	$cd \times sr$
lux	lx	illuminance	$(cd \times sr)/m^2$

A list of metric conversions is provided in the table.

Common equivalents and conversion factors for U.S. Customary and SI systems	
approximate common equivalents	
*Common term not used in SI.	
**Exact.	
Source: National Bureau of Standards Wall Chart.	
1 inch	= 25 millimetres
1 foot	= 0.3 metre
1 yard	= 0.9 metre
1 mile	= 1.6 kilometres
1 square inch	= 6.5 square centimetres
1 square foot	= 0.09 square metre
1 square yard	= 0.8 square metre
1 acre	= 0.4 hectare*
1 cubic inch	= 16 cubic centimetres
1 cubic foot	= 0.03 cubic metre
1 cubic yard	= 0.8 cubic metre
1 quart (liq)	= 1 litre*
1 gallon	= 0.004 cubic metre
1 ounce (avdp)	= 28 grams

1 pound (avdp)	= 0.45 kilogram
1 horsepower	= 0.75 kilowatt
1 millimetre	= 0.04 inch
1 metre	= 3.3 feet
1 metre	= 1.1 yards
1 kilometre	= 0.6 mile (statute)
1 square centimetre	= 0.16 square inch
1 square metre	= 11 square feet
1 square metre	= 1.2 square yards
1 hectare*	= 2.5 acres
1 cubic centimetre	= 0.06 cubic inch
1 cubic metre	= 35 cubic feet
1 cubic metre	= 1.3 cubic yards
1 litre*	= 1 quart (liq)
1 cubic metre	= 264 gallons
1 gram	= 0.035 ounce (avdp)
1 kilogram	= 2.2 pounds (avdp)
1 kilowatt	= 1.3 horsepower
conversions accurate within 10 parts per million	
inches \times 25.4**	= millimetres
feet \times 0.3048**	= metres

yards \times 0.9144**	= metres
miles \times 1.60934	= kilometres
square inches \times 6.4516**	= square centimetres
square feet \times 0.0929030	= square metres
square yards \times 0.836127	= square metres
acres \times 0.404686	= hectares
cubic inches \times 16.3871	= cubic centimetres
cubic feet \times 0.0283168	= cubic metres
cubic yards \times 0.764555	= cubic metres
quarts (liq) \times 0.946353	= litres
gallons \times 0.00378541	= cubic metres
ounces (avdp) \times 28.3495	= grams
pounds (avdp) \times 0.453592	= kilograms
horsepower \times 0.745700	= kilowatts
millimetres \times 0.0393701	= inches
metres \times 3.28084	= feet
metres \times 1.09361	= yards
kilometres \times 0.621371	= miles (statute)
square centimetres \times 0.155000	= square inches
square metres \times 10.7639	= square feet
square metres \times 1.19599	= square yards

hectares \times 2.47105	= acres
cubic centimetres \times 0.0610237	= cubic inches
cubic metres \times 35.3147	= cubic feet
cubic metres \times 1.30795	= cubic yards
litres \times 1.05669	= quarts (liq)
cubic metres \times 264.172	= gallons
grams \times 0.0352740	= ounces (avdp)
kilograms \times 2.20462	= pounds (avdp)
kilowatts \times 1.34102	= horsepower

The Editors of Encyclopaedia Britannica

Simpulan

1. Fisika adalah ilmu pengetahuan alam yang melibatkan studi tentang materi dan gerakannya melalui ruang dan waktu, bersama dengan konsep-konsep terkait seperti energi dan gaya.
2. Materi secara umum dianggap sebagai segala sesuatu yang memiliki massa dan volume.
3. Hukum dan teori ilmiah mengungkapkan kebenaran umum tentang alam dan tubuh pengetahuan yang melingkupinya. Hukum-hukum alam ini adalah aturan yang tampaknya diikuti oleh semua proses alam.
4. Banyak disiplin ilmu, seperti biofisika, merupakan perpaduan antara fisika dan ilmu pengetahuan lainnya.
5. Studi fisika mencakup semua bentuk materi dan gerakannya dalam ruang dan waktu.
6. Penerapan fisika merupakan hal mendasar terhadap kontribusi signifikan dalam teknologi baru yang muncul dari terobosan teoretis.

7. Konsep-konsep dalam fisika tidak dapat dibuktikan, mereka hanya dapat didukung atau dibantah melalui observasi dan eksperimen.
8. Model adalah representasi berbasis bukti dari sesuatu yang terlalu sulit atau tidak mungkin ditampilkan secara langsung.
9. Teori adalah penjelasan atas pola-pola di alam yang didukung oleh bukti ilmiah dan diverifikasi berkali-kali oleh berbagai kelompok peneliti.
10. Hukum menggunakan bahasa yang ringkas, sering kali dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis, untuk menjelaskan pola umum di alam yang didukung oleh bukti ilmiah dan eksperimen berulang.

Daftar Pustaka

- Aalst, J. van. (2000). An introduction to physics education research. *Canadian Journal of Physics*, 78(1), 57–71.
- Aini, N., & Alam, M. P. I. P. (2020). *Sejarah Perkembangan Fisika (Kuantum) Dari Klasik Hingga Modern*. Tesis Magister, Universitas Lampung, 2020). Diakses pada 28 Januari 2022
- Bunge, M. (1973). *Philosophy of physics*. Springer.
- Butterfield, J., & Earman, J. (2007). *Philosophy of physics* (Vol. 2). Elsevier.
- Dasar, T. D. L. F. (2002). *Buku Ajar Fisika Dasar*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Salim, A., & Taib, S. (2018). *Fisika Dasar 1*. Deepublish.
- Seroglou, F., & Koumaras, P. (2001). The contribution of the history of physics in physics education: A review. *Science Education and Culture: The Contribution of History and Philosophy of Science*, 327–346.
- Siregar, R. E. (2018). Fisika kuantum. *Universitas Padjajaran*.
- Wieman, C., & Perkins, K. (2005). Transforming physics education. *Physics Today*, 58(11), 36.

Profil Penulis



Sudirman, S.Pd, M.Ed

Lahir di Tanete pada tanggal 17 Agustus 1990. Penulis diangkat menjadi Dosen tetap di Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar pada tahun 2018. Penulis menempuh studi jenjang S1 di Program Studi Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar dan selesai pada tahun 2014 dengan predikat cumlaude. Lulus beasiswa LPDP tahun 2014 dan melanjutkan pendidikan magister (M.Ed by Research) di National University of Ireland pada tahun 2015 dan selesai pada tahun 2017 dengan predikat Magna Cumlaude serta hasil thesis dengan Outstanding Research Award. Selama studi magister, penulis juga pernah bekerja sebagai *teaching assistant* pada *Eureka Laboratory, School of Education, University College Cork, Ireland* Tahun 2016 hingga 2017.

Penulis juga aktif menulis *bookchapter* rumpun Matematika dan IPA serta bidang pendidikan. Buku-buku yang telah ditulis antara lain; *Belajar dan Pembelajaran, Teori dan Inovasi Pendidikan Masa Depan, Pengantar Pendidikan, Strategi Pembelajaran berbasis digital, Konsep dan Model Pembelajaran Karakter, Dasar-dasar Ilmu Pendidikan, Pengantar Statistika 2, Kalkulus Differensial, Perpindahan Kalor, Kinematika Partikel, Kimia Dasar, Proses Belajar dan Pembelajaran, Pengantar Pendidikan, Pengembangan Profesi Guru, Implementasi Pembelajaran Abad 21 pada berbagai bidang ilmu dan Strategi Pembelajaran Berbasis Digital*. Menulis jurnal baik nasional maupun internasional, serta menjadi reviewer jurnal nasional dan internasional. Saat ini terdaftar sebagai Mahasiswa Program Doktor di Program Studi Ilmu Pendidikan, Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar dengan fokus riset Pengembangan asesmen praktikum fisika berbasis karakter.

Email Penulis: Sudirman.raja@uin-alauddin.ac.id

BESARAN, SATUAN DAN PENGUKURAN

Silka

Universitas Kristen Indonesia Toraja

Fisika dimulai dengan mengamati fenomena-fenomena yang ada. Melalui eksperimen maka fenomena fisik tersebut dapat dideskripsikan secara kuantitatif. Setiap kita melakukan deskriptif secara kuantitatif maka alat pengukuran yang kita gunakan membutuhkan suatu pembanding. Pembanding yang dibutuhkan berupa referensi yang sesuai dengan alat ukur tersebut. Misalnya, untuk mengukur panjang kita menggunakan alat ukur yaitu meteran (Anonim, 2017). Dengan kata lain ketika mengukur kita membutuhkan suatu standar sebagai pembanding dengan yang akan kita ukur. Standar tersebut yang akan dinyatakan memiliki nilai dan dijadikan sebagai acuan satuan tertentu. Standar ukur yang digunakan merupakan Standar Internasional yang artinya standar tersebut diakui oleh Negara lain dan dapat membuat manusia dapat berkomunikasi dalam bahasa satuan standar yang sama. Standar juga haruslah praktis dan mudah diproduksi ulang dimanapun di dunia dan tidak bergantung pada kondisi atau keadaan lingkungan tertentu (Satriawan, 2012).

Sistem standar internasional yang digunakan sebagai ukuran dikenal dengan Sistem Internasional (SI). Bersamaan dengan sistem standar, juga terdapat satuan SI untuk setiap besaran fisika.

Besaran dan Satuan

Besaran Fisika adalah segala sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka contohnya panjang, massa, waktu, luas, berat, volume, kecepatan, dan lain-lain. Sedangkan segala segala yang tidak dapat diukur dan tidak dapat dinyatakan dengan angka bukanlah termasuk

besaran fisika. Contoh yang bukan besaran fisika adalah warna, indah, cantik, dll (Bahtiar, 2017). Besaran fisika terdiri atas dua jenis yaitu secara konseptual dan matematis. Secara konseptual besaran dibagi menjadi dua, yaitu: besaran pokok dan besaran turunan. Sedangkan secara matematis, besaran dibedakan menjadi dua juga, yaitu: besaran skalar dan besaran vektor (Kurniawati, 2019). Kali ini kita akan membahas mengenai besaran secara konseptual sedangkan besaran secara matematis akan dibahas pada materi Kinematika Dimensi 1. Simbol fisika umumnya berasal dari kata serapan bahasa asing.

1. Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lain. Ada 7 besaran pokok dalam sistem Satuan Internasional, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Besaran Pokok beserta Dimensinya

No	Besaran Pokok	Satuan (SI)	Lambang	Simbol Dimensi
1	Panjang	Meter	m	[L]
2	Massa	kilogram	kg	[M]
3	Waktu	sekon	s	[T]
4	Arus Listrik	ampere	A	[I]
5	Suhu	Kelvin	K	[θ]
6	Jumlah Zat	mole	Mol	[N]
7	Intensitas Cahaya	candela	cd	[J]

Panjang merupakan dimensi suatu benda yang menyatakan jarak antar ujung. Panjang dapat dibagi menjadi tinggi dan lebar dimana tinggi, yaitu jarak vertikal, serta lebar, yaitu jarak dari satu sisi ke sisi yang lain, yang diukur pada sudut tegak lurus terhadap panjang benda. Dalam ilmu fisika dan teknik, kata “panjang” biasanya digunakan secara sinonim dengan “jarak”, dengan menggunakan symbol l atau L (singkatan dari bahasa Inggris length).

Massa adalah sifat fisika dari suatu benda, yang secara umum dapat digunakan untuk mengukur banyaknya materi yang terdapat

dalam suatu benda. Massa merupakan konsep utama dalam mekanika klasik dan subyek lain yang berhubungan.

Waktu menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (1997) adalah seluruh rangkaian saat ketika proses, perbuatan atau keadaan berada atau berlangsung. Dalam hal ini, skala waktu merupakan interval antara dua buah keadaan/kejadian, atau bisa merupakan lama berlangsungnya suatu kejadian. Tiap masyarakat memiliki pandangan yang relatif berbeda tentang waktu yang mereka jalani. Sebagai contoh: masyarakat Barat melihat waktu sebagai sebuah garis lurus (linier). Konsep garis lurus tentang waktu diikuti dengan terbentuknya konsep tentang urutan kejadian. Dengan kata lain sejarah manusia dilihat sebagai sebuah proses perjalanan dalam sebuah garis waktu sejak zaman dulu, zaman sekarang dan zaman yang akan datang. Berbeda dengan masyarakat Barat, masyarakat Hindu melihat waktu sebagai sebuah siklus yang terus berulang tanpa akhir.

Suhu menunjukkan derajat panas benda. Mudahnya, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan ditempat berupa getaran. Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut.

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Pada zaman dulu, Arus konvensional didefinisikan sebagai aliran muatan positif, sekalipun kita sekarang tahu bahwa arus listrik itu dihasilkan dari aliran elektron yang bermuatan negatif ke arah yang sebaliknya.

Jumlah molekul. Satuan jumlah zat adalah "mole" (disingkat n). Jumlah molekul adalah jumlah dari zat - zat yang saling berinteraksi pada tempat tertentu di suatu wadah.

Intensitas Cahaya adalah intensitas cahaya suatu sumber cahaya yang memancarkan radiasi monokromatik pada frekuensi 540×10^{12} hertz dengan intensitas radiasi sebesar $1/683$ watt per steradian dalam arah tersebut (Bahtiar, 2017)

2. Besaran Turunan

Terlepas dari tujuh besaran pokok yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**, besaran turunan mengacu pada semua besaran pokok fisika.

Besaran turunan merupakan besaran yang diperoleh dari besaran-besaran pokok. Berikut ini tabel besaran turunan beserta dimensinya.

Tabel 2.2. Besaran Turunan beserta Dimensinya

No	Besaran Turunan	Satuan (SI)	Dimensi
1	Luas	m ²	[L][L] = [L] ²
2	Volume	m ³	[L][L][L] = [L] ³
3	Massa Jenis	kg/m ³	[M] / [L] ³ = [M][L] ⁻³
4	Kecepatan	m/s	[L] / [T] = [L][T] ³
5	Percepatan	m/s ²	[L][T] ⁻¹ / [T] =
6	Gaya Usaha	kg.m/s ²	[L][T]
7		Joule (J)	[M][L][T] ⁻²⁺ [M][L] ² [T] ⁻²

Besaran Turunan dipelajari pada masing-masing pokok bahasan dalam pelajaran fisika. Untuk lebih jelas mengenai pengertian besaran turunan, maka perhatikan beberapa besaran turunan yang satuannya diturunkan dari satuan besaran pokok berikut ini.

Volume = panjang x lebar x tinggi = besaran panjang x besaran panjang x besaran Panjang = m x m x m = m³
 Kecepatan = jarak/waktu = besaran panjang/besaran waktu = m/s

Konversi Satuan

Besaran apapun yang kita ukur, seperti panjang, massa atau kecepatan, terdiri dari angka dan satuan. Sering kita diberikan besaran dalam satuan tertentu dan kita ingin menyatakannya dalam satuan lain. Misalnya kita mengetahui jarak dua kota dalam satuan kilometer dan kita ingin mengetahui berapa jaraknya dalam satuan meter. Demikian pula dengan massa benda. Misalnya kita mengukur massa tepung terigu dalam satuan kg dan kita ingin mengetahui massa tepung terigu dalam satuan ons. tau pon. Untuk itu kita harus mengkonversi satuan tersebut. Konversi berarti mengubah. Untuk mengkonversi satuan, terlebih

dahulu harus diketahui beberapa hal yang penting, antara lain awalan-awalan metrik yang digunakan dalam satuan dan faktor konversi

Konversi satuan dalam sistem Satuan Internasional (SI) merupakan kemudahan dalam pemakaiannya karena menggunakan sistem desimal (kelipatan 10) dan hanya ada satu satuan pokok untuk setiap besaran dengan penambahan awalan untuk satuan yang lebih besar atau lebih kecil. Misalnya, 1 centimeter sama dengan 0,01 meter atau 1 kilogram sama dengan 1000 gram. Untuk kemudahan mengubah suatu satuan ke satuan lain dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan tangga konversi seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Sumber: <https://serviceacjogja.pro/konversi-satuan/>

Pengukuran

Seperti yang sudah dibahas di awal bab ini, fenomena alam yang terjadi di sekitar kita dapat kita pelajari melalui proses ilmiah. Salah satu prosedur awal dari proses ilmiah tersebut adalah pengamatan serta eksperimen terhadap peristiwa atau fenomena alam. Dalam kegiatan pengamatan peristiwa alam yang terjadi ataupun eksperimen dalam pemodelan diperlukan kegiatan pengukuran. Hasil pengukuran tersebut mendapatkan "Harga" besaran yang disertai dengan satuan.

Ketika kita melakukan pengukuran, diperlukan alat ukur yang telah di kalibrasi. Kalibrasi dilakukan untuk menyamakan standar ukuran (acuan) dan satuan yang dipakai. Apa yang akan dilakukan sewaktu akan dilakukan pengukuran? yang akan kita lakukan ialah misalnya

akan mengukur panjang meja. Maka kita bisa menggunakan jengkal atau mistar. Jika kita mengukur dengan menggunakan jengkal sebagai satuan panjangnya adalah jengkal, sedangkan jika kita mengukur menggunakan mistar maka centimeter adalah satuan panjangnya. Pengukuran sebenarnya merupakan proses perbandingan nilai besaran yang belum diketahui dengan nilai standar yang sudah ditetapkan (Bahtiar, 2017).

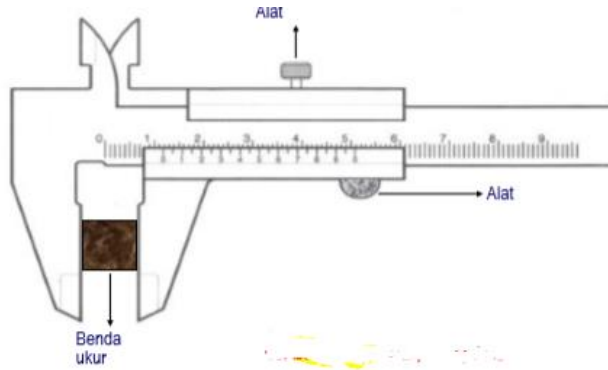
Terdapat beberapa istilah dalam pengukuran. Istilah-istilah tersebut yaitu ketelitian, kepekaan dan ketepatan. Ketelitian adalah suatu ukuran yang menyatakan tingkat pendekatan dari nilai yang diukur terhadap nilai benar x_0 . Kepekaan adalah ukuran minimal yang masih dapat dikenal oleh instrumen/alat ukur. Ketepatan (akurasi) adalah suatu ukuran kemampuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sama. Dengan memberikan suatu nilai tertentu pada besaran fisis, ketepatan merupakan suatu ukuran yang menunjukkan perbedaan hasil-hasil pengukuran pada pengukuran berulang (Abdullah, 2013)

1. Satuan Panjang

Satuan Internasional yang digunakan untuk satuan panjang adalah meter (m). Satu meter diartikan sebagai jarak tempuh yang diperlukan cahaya di ruang hampa. Satuan panjang internasional yang pertama kali dibuat ialah sebuah batang yang dibuat dari campuran platina-iridium yang disebut meter standar. Alat ukur panjang yang digunakan yaitu (Sandari, 2021)(Sandari, 2021)(Sandari, 2021)(Sandari, 2021)(Sandari, 2021)(Sandari, 2021)(Sandari, 2021)(Sandari, 2021):

- a. Penggaris/mistar mempunyai skala terkecil 1 mm dan memiliki ketelitian 0,5 mm. Ketelitian dalam pengukuran menggunakan penggaris adalah setengah nilai dari skala terkecilnya. Setiap kali melakukan pengukuran menggunakan penggaris, diusahakan kedudukan pengamat tegak lurus dengan skala pada penggaris yang akan diukur. Kegiatan ini, dilakukan untuk menghindari kesalahan pandangan pada skala penggaris. Alat pengukur panjang yang lebih teliti dari penggaris, adalah jangka sorong dan mikrometer sekrup.
- b. Jangka Sorong

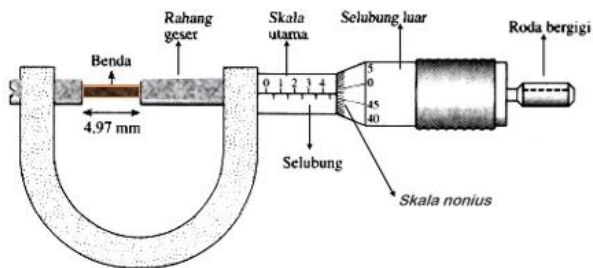
Berikut adalah gambar salah satu alat pengukur panjang yaitu jangka sorong. Sebelum menggunakan jangka sorong maka terlebih dahulu dibuka pengunci alat yang tersedia pada alat tersebut.



Gambar 2.1 Jangka Sorong Sumber: Sudargo, 2007

Pada gambar terlihat bahwa skala utama pada jangka sorong menunjukkan hasil pengukuran 1,1 cm atau 11 mm lebih. Kelebihannya dapat kita lihat pada skala nonius yang berhimpit dengan skala utama. Kita dapat melihat berapa kelebihanannya maka perhatikan skala nonius yang berhimpit dengan skala dan yang berhimpit ialah skala nonius 8 berarti kelebihanannya 0,8 mm. Jadi, benda yang diukur panjangnya menggunakan jangka sorong adalah $(11 \text{ mm} + 0,8 \text{ mm}) = 11,8 \text{ mm}$ atau 1,18 cm.

c. Mikrometer Sekrup



Gambar 2.2 Mikrometer Sekrup Sumber: Sudargo, 2007

Pada gambar dapat dilihat bahwa skala utama mikrometer menunjukkan hasil pengukuran 4,5 mm lebih. Kelebihannya dapat kita lihat pada skala nonius putar yang terdapat pada selubung luar yang berhimpit dengan skala utama. Ternyata yang berhimpit adalah skala nonius 47, berarti kelebihanannya 0,47 mm. Maka dapat kita pastikan bahwa panjang benda yang diukur dengan menggunakan micrometer sekrup adalah $(4,5 \text{ mm} + 0,47 \text{ mm}) = 4,97 \text{ mm}$.

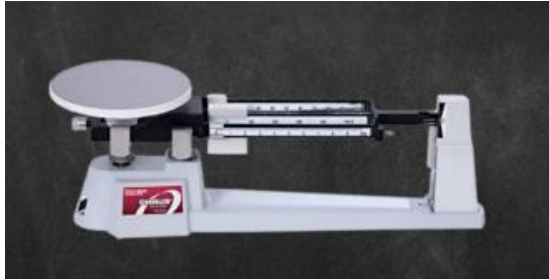
2. Satuan Massa

Massa merupakan banyaknya zat yang terkandung dalam sebuah benda. Massa benda selalu tetap dimana pun benda tersebut berada. Satuan internasional dari besaran massa adalah kg (kilogram). Alat yang digunakan dalam pengukuran massa ialah timbangan atau neraca.



Gambar 2.4. Neraca Lengan
Sumber: Sudargo, 2007

Sebelum menggunakan neraca lengan, maka lengan neraca tersebut harus dalam keadaan seimbang mendatar (jarum petunjuknya berada di tengah). Benda yang ingin diketahui massanya diletakkan pada salah satu lengan dan lengan satunya di letakkan anak timbangan (massa standar). Kemudian adan timbangan diatur sedemikian rupa, sampai kedua lengan neraca menjadi seimbang mendatar lagi. Dengan demikian massa benda sama dengan massa anak timbangan yang digunakan. Selain neraca lengan, juga terdapat jenis nerca Ohaus. Neraca Ohaus banyak digunakan di sekolah. Cara menggunakan neraca tersebut relative mudah, cukup teliti dan memiliki batasan pengukuran yang memadai.



Gambar 2.5. Neraca Ohaus
Sumber: Sudargo, 2007

3. Satuan Waktu

Satuan SI waktu adalah sekon/detik. Satu detik didefinisikan sebagai waktu yang digunakan oleh atom cesium-133 untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali. Karena ditentukan dari getaran atom cesium, maka waktu standar ini disebut juga jam atom. Alat yang digunakan untuk mengukur waktu adalah stopwatch atau jam. Stopwatch menggunakan teknologi digital yang ketelitiannya sangat tinggi sehingga mencapai 0,01 detik. Alat ini pada umumnya digunakan dalam pertandingan olahraga. Selain satuan detik, waktu juga dinyatakan dalam satuan menit, jam, hari, minggu, bulan, tahun dan abad.



Gambar 2.6. Stopwatch
Sumber: Sudargo, 2007

Angka Penting

Semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran disebut angka penting, terdiri atas angka-angka pasti dan angka-angka terakhir yang ditaksir (angka taksiran). Hasil pengukuran dalam fisika tidak pernah eksak, selalu terjadi kesalahan pada waktu mengukurnya. Kesalahan ini dapat diperkecil dengan menggunakan alat ukur yang lebih teliti. Aturan-aturan dalam menentukan angka penting adalah sebagai berikut:

1. Semua angka yang bukan nol adalah angka penting. Contoh : 14,256 (5 angka penting).
2. Semua angka nol yang terletak di antara angka-angka bukan nol adalah angka penting. Contoh : 7000,2003 (8 angka penting).
3. Semua angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir, tetapi terletak di depan tanda desimal adalah angka penting. Contoh: 70000, (5 angka penting).
4. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan di belakang tanda desimal adalah angka penting. Contoh: 23,50000 (7 angka penting).
5. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan tidak dengan tanda desimal adalah bukan angka penting. Contoh: 3500000 (2 angka penting).
6. Angka nol yang terletak di depan angka bukan nol yang pertama adalah bukan angka penting. Contoh: 0,0000352 (3 angka penting).

Dimensi Besaran

Dimensi besaran diwakili dengan simbol, misalnya [M], [L], [T] yang mewakili massa (mass), panjang (length) dan waktu (time). Ada dua macam dimensi yaitu Dimensi Primer dan Dimensi Sekunder¹³. Dimensi primer meliputi M (untuk satuan massa), L (untuk satuan panjang) dan T (untuk satuan waktu). Dimensi sekunder adalah dimensi dari semua Besaran Turunan yang dinyatakan dalam Dimensi Primer. Contoh:

Dimensi Gaya: [M] [L] [T]⁻² atau dimensi Percepatan: [L] [T]⁻².

Besaran Pokok	Satuan	Lambang Dimensi
Panjang	meter (m)	[L]
Massa	kilogram (kg)	[M]
Waktu	sekon (s)	[T]
Kuat Arus listrik	ampere (A)	[I]
Suhu	kelvin (K)	[θ]
Jumlah zat	mol (mol)	[N]
Intensitas cahaya	kandela (cd)	[J]

Gambar 2.7. Tabel Dimensi Besaran Pokok

Sumber: <https://mafia.mafiaol.com/2013/07/dimensi-besaran.html>

Besaran Turunan	Analisis	Dimensi
Luas	[panjang] x [panjang]	[L] ²
Volume	[panjang] x [panjang] x [panjang]	[L] ³
Kecepatan	$\frac{[\text{panjang}]}{[\text{waktu}]}$	[L][T] ⁻¹
Percepatan	$\frac{[\text{kecepatan}]}{[\text{waktu}]}$	[L][T] ⁻²
Massa jenis	$\frac{[\text{massa}]}{[\text{volume}]}$	[M][L] ⁻³
Gaya	[massa] x [percepatan]	[M][L][T] ⁻²
Tekanan	$\frac{[\text{gaya}]}{[\text{luas}]}$	[M][L] ⁻¹ [T] ⁻²
Usaha	[gaya] x [panjang]	[M][L] ² [T] ⁻²
Daya	$\frac{[\text{usaha}]}{[\text{waktu}]}$	[M][L] ² [T] ⁻³

Sumber: <https://mafia.mafiaol.com/2013/07/dimensi-besaran.html>

Manfaat dimensi dalam fisika antara lain: (1) dapat digunakan untuk membuktikan dua besaran sama atau tidak. Dua besaran sama jika keduanya memiliki dimensi yang sama atau keduanya termasuk besaran vektor atau skalar, (2) dapat digunakan untuk menentukan persamaan yang pasti salah atau mungkin benar, (3) dapat digunakan untuk menurunkan persamaan suatu besaran fisis jika kesebandin (Bahtiar, 2017).

Daftar Pustaka

- Abdullah, M. (2013). *Fisika Dasar I*. ITB Bandung.
- Anonim. (2017). *Lecture Note. Physical Quantities and Units 1*. (Issue cd, pp. 1–6).
- Bahtiar, D. (2017). Pengantar Fisika Dasar I. In *LP2M UIN Mataram* (Vol. 13, Issue 1).
- Kurniawati, I. D. (2019). *Fisika Dasar Berbasis Masalah*. UNIPMA PRESS.
- Sandari, T. (2021). Identifikasi Pemahaman Siswa Terhadap Hasil Belajar Fisika Pada Materi Besaran dan Satuan di SMA N 1 Batanghari. *Integrated Science Education Journal*, 2(3), 94–97. <https://doi.org/10.37251/isej.v2i3.176>
- Satriawan, M. (2012). *Fisika Dasar*. UGM Yogyakarta.
- Sudargo, F. (2007). *Model Buku IPA SMP Kelas VII*. UPI Bandung.

Profil Penulis



Silka, M.Pd

Penulis lahir di Malangke pada 10 Juli 1990. Merupakan Anak 3 dari 5 bersaudara. Penulis adalah salah satu lulusan dari Universitas Negeri Makassar pada tahun 2013 pada bidang ilmu pendidikan fisika dan juga merupakan lulusan Pascasarjana Universitas Negeri Makassar bidang pendidikan fisika tahun 2015.

Saat ini Penulis merupakan dosen tetap pada salah satu Perguruan Tinggi Swasta di Tana Toraja yaitu Universitas Kristen Indonesia Toraja pada program studi pendidikan fisika. Adapun beberapa matakuliah yang diampuh oleh penulis antara lain Fisika Teknik, Fisika Dasar Teori Medan Elektromagnetik Fisika Zat Padat Belajar Pembelajaran Pengantar Ilmu Pendidikan Statistik Kependidikan dan PLP I. Selain aktif mengajar penulis juga aktif melakukan penelitian. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI..

Email Penulis: kapoorsilka@gmail.com

KINEMATIKA DIMENSI 1

Hadriyanti

Dinas Pendidikan Kota Makassar & SMP Negeri 12 Makassar

Mekanika merupakan cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang gerak suatu benda (partikel). Gerak partikel tersebut dapat menggunakan konsep ruang dan waktu, tanpa memperhatikan penyebab dari gerak tersebut. Gerak ini disebut kinematika. Sedangkan bagian mekanika yang membahas gerak partikel dengan memperhatikan penyebabnya disebut dinamika (Halliday, D & R. Resnick, 1980). Namun pada pembahasan ini akan difokuskan pada bagian kinematika. Pada konsep kinematika beberapa yang perlu diperhatikan yaitu pertama, bagaimana perubahan posisi benda di dalam ruang dari waktu ke waktu (lintasan benda), kedua adalah bagaimana laju perubahan posisi terhadap waktu (kecepatan benda) dan ketiga adalah bagaimana laju perubahan kecepatan terhadap waktu (percepatan benda).

Lintasan benda dapat berada pada garis lurus (satu dimensi), pada permukaan bidang datar (dua dimensi) dan di dalam ruang (tiga dimensi). Untuk mengawali pembahasan mengenai kinematika dipilih kasus gerakan dalam satu dimensi (lintasannya berupa garis lurus). Dengan dipilih satu dimensi dimaksudkan untuk mempermudah pemahaman konsep dasar kinematika (tidak melibatkan aljabar vektor yang agak kompleks, yang biasanya digunakan untuk menguraikan gerak dalam dua dan tiga dimensi).

Vektor Dan Skalar

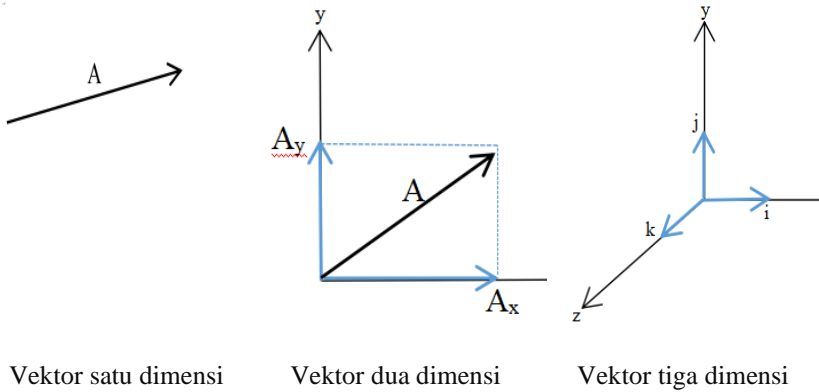
Pada dasarnya, skalar dan vektor memiliki perbedaan mendasar dalam definisi, representasi, operasi matematika, contoh penggunaan, sifat, dan operasi geometris. Skalar adalah suatu besaran fisika yang hanya memiliki nilai dan satuan, sedangkan vektor adalah besaran yang memiliki nilai, satuan, dan arah. Skalar dapat direpresentasikan sebagai

bilangan tunggal, sedangkan vektor direpresentasikan sebagai sebuah panah dengan garis panah menunjukkan arah dan panjang garis panah menunjukkan besarnya. Dari segi operasi matematika, skalar melibatkan penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian, sedangkan pada vektor meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian skalar, dan produk dot/cross. Contoh penggunaannya yaitu mengukur besaran suhu, massa, waktu, energi, kelajuan, tekanan dan sebagainya untuk skalar sedangkan mengukur besaran yang memiliki arah seperti kecepatan, perpindahan, percepatan, gaya, medan magnet dan momen untuk penggunaan vektor (Tipler, P.A. 1998; Zemansky, Sears. 1986).

Dalam geometri, skalar digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik, sedangkan vektor digunakan untuk menghitung perpindahan antara dua titik. Skalar tidak terpengaruh oleh rotasi koordinat, sedangkan vektor terpengaruh oleh rotasi koordinat. Vektor dan skalar digunakan dalam berbagai konsep fisika seperti kecepatan, gaya, perpindahan, energi kinetik, temperatur, dan tekanan. Penggunaan vektor dan skalar dalam fisika sangat penting untuk memperoleh hasil yang akurat dalam perhitungan dan analisis. Beberapa contoh penerapan vektor dan skalar dalam konsep fisika, antara lain:

- a. Kecepatan adalah besaran vektor yang memiliki besaran dan arah. Jika sebuah objek bergerak dengan kecepatan 10 m/s ke utara, maka besaran dan arahnya harus diperhatikan.
- b. Gaya adalah besaran vektor karena memiliki besaran, arah, dan titik aplikasi. Jika sebuah benda diberikan gaya sebesar 10 N ke arah timur, maka arah dan titik aplikasi gaya harus diperhatikan.
- c. Perpindahan adalah besaran vektor karena memiliki besaran dan arah. Jika sebuah benda berpindah dari titik A ke titik B sejauh 5 meter ke arah barat, maka arah dan besaran perpindahan harus diperhatikan.
- d. Energi kinetik adalah besaran skalar karena hanya memiliki besaran tanpa arah. Energi kinetik sebuah benda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $\frac{1}{2}mv^2$, dimana m adalah massa benda dan v adalah kecepatan benda.
- e. Temperatur adalah besaran skalar karena hanya memiliki besaran tanpa arah. Temperatur suatu benda dapat diukur dalam derajat Celcius, Fahrenheit, atau Kelvin tanpa memperhatikan arah.
- f. Tekanan adalah besaran skalar karena hanya memiliki besaran tanpa arah. Tekanan suatu fluida dapat diukur dalam Pascal, bar, atau atmosfer tanpa memperhatikan arah.

Notasi vektor dapat ditunjukkan baik satu dimensi, dua dimensi maupun tiga dimensi sebagai berikut:

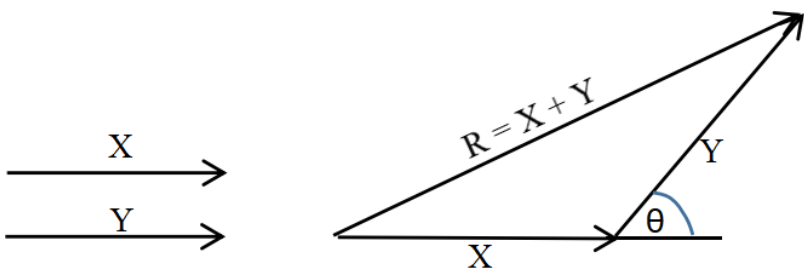


Gambar 3.1 Notasi vektor

Dua buah vektor misalnya vektor \mathbf{X} dan \mathbf{Y} dapat dikatakan sama jika keduanya memiliki nilai dan arah yang sama ($\vec{X} = \vec{Y}$), dan jika sebuah vektor arahnya berlawanan dengan vektor \mathbf{X} , namun memiliki nilai yang sama dengan besar vektor \mathbf{X} maka hal ini disebut negasi dari \mathbf{X} ($-\mathbf{X}$). Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam operasi vektor, yaitu:

a. Penjumlahan vektor

Misalkan dua buah vektor \mathbf{X} dan \mathbf{Y} dapat dijumlahkan dengan cara menempatkan titik awal dari \mathbf{Y} pada titik ujung dari \mathbf{X} , kemudian menghubungkan titik awal dari vektor \mathbf{X} dengan titik ujung dari vektor \mathbf{Y} , seperti pada gambar berikut:



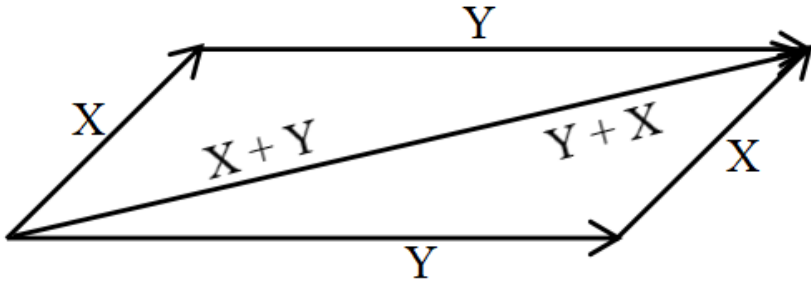
Gambar 3.2 Penjumlahan dua buah vektor

θ adalah sudut yang dibentuk antara vektor \mathbf{X} dan vektor \mathbf{Y} . Kedua vektor tersebut membentuk resultan \mathbf{R} yang besarnya:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + 2XY\cos\theta} \quad (3.1)$$

Sifat penjumlahan vektor berlaku komutatif dan asosiatif. Sifat komutatif ditunjukkan seperti pada gambar 3.3. dan dijabarkan formulasinya sebagai berikut:

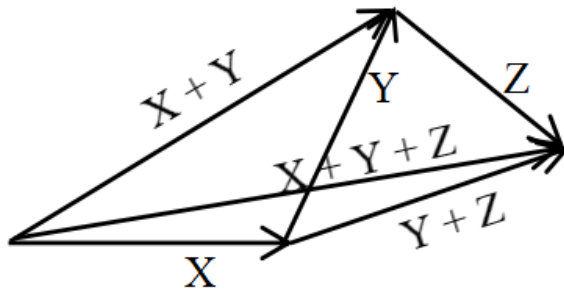
$$\mathbf{X} + \mathbf{Y} = \mathbf{Y} + \mathbf{X} \quad (3.2)$$



Gambar 3.3 Penjumlahan dua buah vektor sifat komutatif

Sedangkan sifat asosiatif dapat diperhatikan seperti pada gambar 3.4, dengan berlaku formulasinya adalah:

$$(\mathbf{X} + \mathbf{Y}) + \mathbf{Z} = \mathbf{X} + (\mathbf{Y} + \mathbf{Z}) = \mathbf{X} + \mathbf{Y} + \mathbf{Z} \quad (3.3)$$



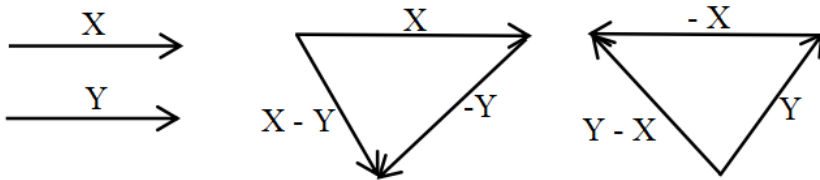
Gambar 3.4 Penjumlahan tiga buah vektor sifat asosiatif

b. Pengurangan vektor

Pengurangan vektor berbeda sifatnya dengan penjumlahan vektor, yakni tidak bersifat komutatif dan asosiatif. Pengurangan dari dua buah vektor misalnya vektor \mathbf{X} dan vektor \mathbf{Y} dituliskan $\mathbf{X} - \mathbf{Y}$ adalah suatu vektor \mathbf{R} yang apabila dijumlahkan pada vektor \mathbf{Y} menghasilkan vektor \mathbf{A} , berlaku:

$$\mathbf{X} - \mathbf{Y} = \mathbf{X} + (-\mathbf{Y}) \quad (3.4)$$

Perhatikan gambar 3.5 dari pengurangan dua buah vektor sebagai berikut:



Gambar 3.5 Pengurangan dua buah vektor

Vektor resultannya berlaku:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 - 2XY\cos\theta} \quad (3.5)$$

c. Perkalian vektor dengan skalar

Jika vektor \mathbf{X} dan vektor \mathbf{Y} , A dan B adalah skalar, maka aturan perkalian vektor dengan skalar berlaku:

- 1) $\mathbf{AX} = \mathbf{XA}$ (komutatif terhadap perkalian)
- 2) $\mathbf{A(BX)} = (\mathbf{AB})\mathbf{X}$ (asosiatif terhadap perkalian)
- 3) $(\mathbf{A + B})\mathbf{X} = \mathbf{AX} + \mathbf{BX}$ (distributif terhadap perkalian)
- 4) $\mathbf{A(X + Y)} = \mathbf{AX} + \mathbf{AY}$

Perkalian vektor \mathbf{X} dengan skalar misal A telah menghasilkan suatu vektor seperti aturan 1) yang besarnya $|A|$ kali besar vektor \mathbf{X} dan arahnya berlaku: searah dengan vektor \mathbf{X} (jika $A > 0$) dan berlawanan arah dengan vektor \mathbf{X} jika $m < 0$.

d. Perkalian vektor dengan vektor

Perkalian dua vektor yang menghasilkan sebuah skalar. Hasil kali skalar dari dua vektor, misalnya vektor \mathbf{A} dan vektor \mathbf{B} dinyatakan dengan $\vec{A} \cdot \vec{B}$ adalah

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \mathbf{A \cdot B \cos \theta} \quad (3.6)$$

Misalnya:

$$\vec{A} = (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}) \quad \text{dan} \quad \vec{B} = (B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k})$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}) \cdot (B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k})$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_xB_x)(\hat{i} \cdot \hat{i}) + (A_yB_y)(\hat{j} \cdot \hat{j}) + (A_zB_z)(\hat{k} \cdot \hat{k})$$

Catatan:

$$\hat{i} \cdot \hat{i} = 1 \cos 0^\circ = 1; \hat{j} \cdot \hat{j} = 1 \cos 0^\circ = 1; \hat{k} \cdot \hat{k} = 1 \cos 0^\circ = 1;$$

$$\hat{i} \cdot \hat{j} = 1 \cos 90^\circ = 0; \hat{i} \cdot \hat{k} = 1 \cos 90^\circ = 0; \text{ dan seterusnya}$$

Sehingga diperoleh:

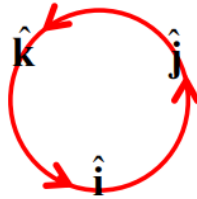
$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x B_x) + (A_y B_y) + (A_z B_z)$$

Perkalian dua vektor yang menghasilkan sebuah vektor. Hasil kali vektor dari dua vektor **A** dan vektor **B**, dapat dinyatakan dengan $\vec{A} \times \vec{B}$, yaitu:

$$\vec{A} \times \vec{B} = \mathbf{C} \quad (3.7)$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}) \times (B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k})$$

Dengan memperhatikan gambar 3.1 pada notasi vektor tiga dimensi berlaku:



Gambar 3.6 Perkalian cross

$$\hat{i} \times \hat{i} = 1 \sin 0^\circ = 0;$$

$$\hat{j} \cdot \hat{j} = 1 \sin 0^\circ = 0;$$

$$\hat{k} \cdot \hat{k} = 1 \sin 0^\circ = 0;$$

$$\hat{i} \cdot \hat{j} = 1 \sin 90^\circ = \mathbf{k};$$

$$\hat{i} \cdot \hat{k} = 1 \sin 90^\circ = -\mathbf{j};$$

$$\hat{k} \cdot \hat{i} = 1 \sin 90^\circ = \mathbf{j}; \text{ dan seterusnya}$$

Maka hal ini dapat diselesaikan hasil perkalian kedua vektor tersebut adalah:

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_x B_x)(\hat{i} \times \hat{i}) + (A_x B_y)(\hat{i} \times \hat{j}) + (A_x B_z)(\hat{i} \times \hat{k}) + (A_y B_x)(\hat{j} \times \hat{i}) + (A_y B_y)(\hat{j} \times \hat{j}) + (A_y B_z)(\hat{j} \times \hat{k}) + (A_z B_x)(\hat{k} \times \hat{i}) + (A_z B_y)(\hat{k} \times \hat{j}) + (A_z B_z)(\hat{k} \times \hat{k})$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y)\hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z)\hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x)\hat{k}$$

Perpindahan

Suatu benda dikatakan bergerak apabila kedudukannya senantiasa berubah terhadap suatu acuan tertentu. Misalkan seseorang sedang duduk di dalam bus yang sedang bergerak meninggalkan suatu terminal, maka seseorang tersebut dikatakan bergerak terhadap

terminal. Ini disebabkan karena kedudukan seseorang tersebut setiap saat berubah terhadap terminal. Bagaimana jika orang yang diam di dalam mobil ditetapkan sebagai acuan ?. Apakah orang tersebut masih dapat dikatakan bergerak ?.

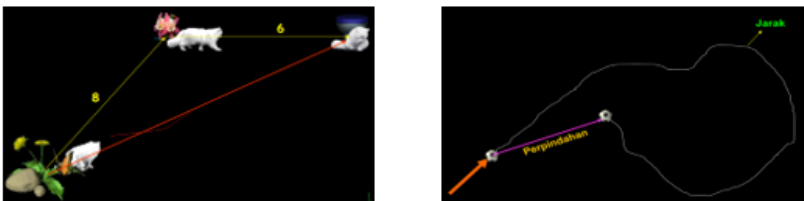
Kedudukan suatu benda dapat dinyatakan sebagai acuan tertentu. Sebagai standar umumnya bahwa lintasan horizontal sebagai sumbu- x dan titik acuan adalah O yang kedudukannya $x_0 = 0$. Kedudukan pada suatu benda dapat terletak di bagian kiri atau di kanan titik acuan, sehingga untuk membedakannya digunakan tanda *negatif* atau tanda *positif*. Selain tanda positif atau negatif, kedudukan suatu benda juga dapat ditentukan oleh jaraknya terhadap titik acuan.

Dapat disimpulkan bahwa *kedudukan adalah letak suatu benda pada suatu waktu tertentu terhadap suatu acuan tertentu*. Kedudukan suatu benda ditentukan oleh besar dan arah sehingga kedudukan termasuk suatu *besaran vektor* (Giancoli C Douglas, 2001)

Perpindahan merupakan besaran vektor yang dapat ditunjukkan pada sebuah segmen garis berarah dari kedudukan awal menuju kedudukan akhir. Untuk perpindahan yang berada dalam satu dimensi sepanjang sumbu- x , arah perpindahan akan dinyatakan oleh tanda positif dan negatif. Tanda positif menyatakan perpindahan berarah ke kanan dan tanda negatif menyatakan perpindahan berarah ke kiri. Misalkan suatu benda berpindah dari titik 1 dengan kedudukan x_1 ke titik 2 dengan kedudukan x_2 , maka perpindahannya (diberi lambang Δx_{12}) diberikan oleh :

$$\Delta x_{12} = x_2 - x_1 \quad (3.8)$$

Jarak dapat didefinisikan sebagai panjang lintasan yang ditempuh oleh sebuah benda dalam selang waktu tertentu. Sedangkan *perpindahan* didefinisikan sebagai perubahan kedudukan suatu benda dalam selang waktu tertentu (Halliday, D & R. Resnick. 1980). Perhatikan gambar 3.7, seekor kucing bergerak dari titik awal sejauh 8 meter kemudian berpindah lagi sejauh 6 meter.



Gambar 3.7 Ilustrasi jarak dan perpindahan

Jarak yang dihasilkan adalah

$$X = 8 + 6 = 14 \text{ m (skalar)}$$

Sedangkan perpindahannya

$$S = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ m (vektor)}$$

Kecepatan dan Percepatan

Kecepatan dan kelajuan adalah konsep yang sering digunakan dalam fisika dan seringkali digunakan secara bergantian oleh banyak orang. Namun, secara teknis, kecepatan dan kelajuan memiliki perbedaan. Kecepatan adalah besaran skalar yang menunjukkan seberapa cepat sebuah benda bergerak tanpa memperhitungkan arah gerakannya. Kecepatan dihitung dengan membagi perpindahan suatu benda dengan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh perpindahan tersebut. Kecepatan dapat ditentukan sebagai berikut:

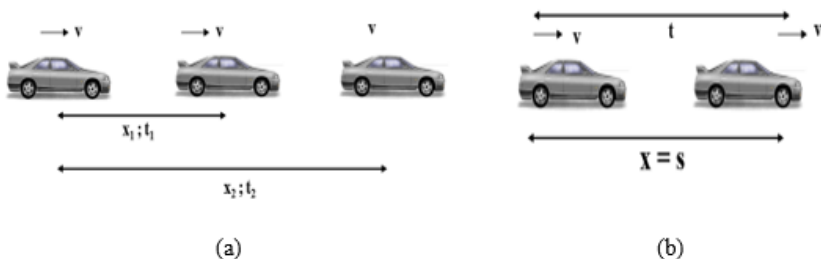
$$v = \Delta s / \Delta t \quad (3.9)$$

dengan v adalah kecepatan, Δs adalah perpindahan, dan Δt adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh perpindahan tersebut. Satuan SI dari kecepatan adalah meter per detik (m/s).

Sedangkan, kelajuan adalah besaran vektor yang menunjukkan seberapa cepat sebuah benda bergerak dan arah gerakannya. Kelajuan dihitung dengan membagi jarak Δx suatu benda dengan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut. Kelajuan dirumuskan sebagai berikut:

$$v = \Delta x / \Delta t \quad (3.10)$$

v adalah kelajuan, Δx adalah perubahan jarak, dan Δt adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut. Satuan SI dari kelajuan adalah meter per detik (m/s).



Berdasarkan gambar 3.8(a), kecepatan yang diperoleh adalah kecepatan rata-rata, yaitu:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3.12)$$

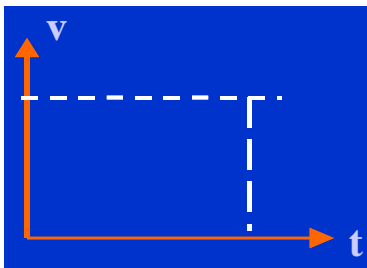
Sedangkan gambar 3.8(b), diuraikan bahwa kecepatannya disebut kecepatan sesaat, yang berlaku:

$$v = x/t \quad (3.11)$$

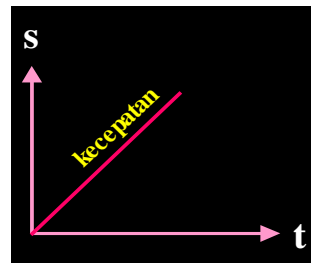
Kecepatan sesaat didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata pada selang waktu yang sangat pendek.

$$\bar{v} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (3.12)$$

Secara grafik ditunjukkan sebagai berikut:



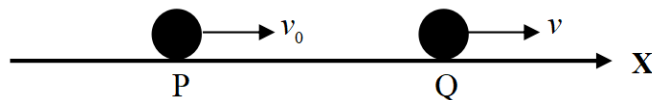
(a)



(b)

Gambar 3.8 Grafik (a) hubungan kecepatan terhadap waktu; dan (b) hubungan jarak terhadap waktu

Bila kecepatan suatu benda berubah, maka dikatakan benda mengalami percepatan (*acceleration*) yang dinotasikan dengan huruf **a**. Mula-mula benda di titik *P* kecepatannya v_0 waktu t_0 setelah selang waktu $\Delta t = t - t_0$ benda sampai pada titik *Q*.



Gambar 3.9 Benda bergerak lurus dari P ke Q

Percepatan rata-rata selama interval tersebut didefinisikan sebagai perbandingan perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu.

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (3.13)$$

Oleh karena $v - v_0$ adalah vektor dan $t - t_0$ adalah skalar, maka a adalah vektor. Satuan percepatan dalam SI adalah m/s^2 .

Percepatan sesaat didefinisikan sebagai:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (3.14)$$

Sumber: Young, & Freedman (2002)

Oleh karena $v = \frac{dx}{dt}$, maka:

$$a = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (3.15)$$

Dari persamaan (3.14) maka dapat dijabarkan menjadi $a(t - t_0) = v - v_0$ atau $v = v_0 + a(t - t_0)$. Jika benda bergerak dari $t_0 = 0$, maka:

$$v = v_0 + at \quad (3.16)$$

Oleh karena $v = \frac{dx}{dt}$ atau $dx = v \cdot dt$ dan $x = \int v \cdot dt$, maka

$$x = \int (v_0 + at) dt$$

Sehingga diperoleh :

$$x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (3.17)$$

Jika kedua persamaan di atas digabung akan diperoleh :

$$v_2 = v_0^2 + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (\text{percepatan konstan}) \quad (3.18)$$

Dengan memfaktorkan persamaan (3.18) dan mengambil nilai persamaan (3.16) maka diperoleh suatu persamaan berikut:

$$x = \frac{v + v_0}{2} \cdot t \quad (3.19)$$

Percepatan yang membuat kecepatan suatu benda atau sistem semakin kecil maka disebut sebagai *perlambatan*.

Contoh Soal 1:

Sebuah partikel bergerak lurus yang dinyatakan dengan fungsi $y(t)=0,1 t^3$, y dalam meter dan t dalam detik. Tentukanlah:

- a. Kecepatan rata-rata dalam selang waktu = 3 s sampai $t = 4$ s.
- b. Kecepatan pada saat $t = 3$ s.
- c. Percepatan rata-rata dalam selang waktu $t = 3$ s sampai $t = 4$ s.
- d. Percepatan pada saat $t = 5$ s.

Jawab:

a. $y(t = 4s) = 0,1 (4)^3 = 6,4$ m dan $y(t = 3s) = 0,1 (3)^3 = 2,7$ m

$$\bar{v} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{6,4 - 2,7}{1} = 3,7 \text{ m/s}$$

b. $v_{y(t)} = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} (0,1t^3) = 0,3t^2$

$$v_{y(t=3)} = 0,3(3)^2 = 2,7 \text{ m/s}$$

c. $y(t = 4s) = 0,3 (4)^2 = 4,8$ m dan $y(t = 3s) = 0,3 (3)^2 = 2,7$ m

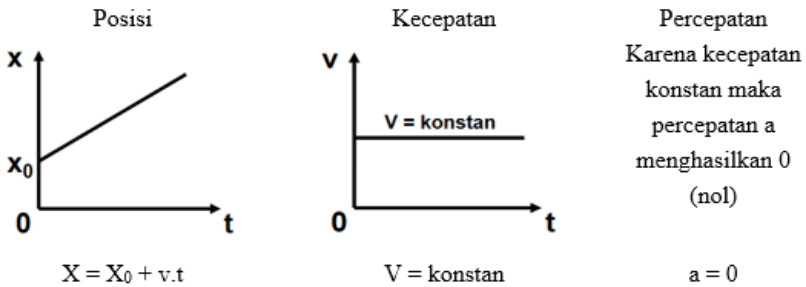
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4,8 - 2,7}{1} = 2,1 \text{ m/s}$$

d. $a_{y(t=5)} = \frac{dv_{y(t)}}{dt} = \frac{d}{dt} (0,3 t^2) = 0,6 t = 0,6 (5) = 3 \text{ m/s}^2$

GLB dan GLBB

Gerak lurus adalah gerakan suatu benda yang bergerak sepanjang garis lurus dengan atau tanpa kecepatan yang tetap. Gerak lurus dapat dilihat pada berbagai situasi dalam kehidupan sehari-hari, seperti gerakan lift naik turun, gerakan mobil di jalan raya, atau gerakan benda yang dilempar ke atas atau jatuh bebas. Ada dua jenis gerak lurus yaitu gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Gerak lurus beraturan adalah gerakan suatu benda yang bergerak sepanjang suatu garis lurus dengan kecepatan yang tetap (Halliday, D

& R. Resnick. 1980; Giancoli C Douglas, 2001; Zemansky, Sears. 1986).



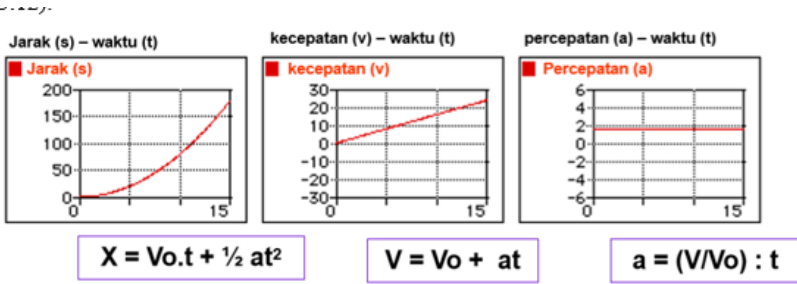
Gambar 3.10 Grafik Gerak Lurus Beraturan

Gerak lurus beraturan dapat digambarkan sebagai grafik jarak (s) terhadap waktu (t) yang merupakan garis lurus dengan kemiringan konstan, yang menunjukkan bahwa benda bergerak dengan kecepatan yang tetap. Pada gerak lurus beraturan, kecepatan benda tetap sama sepanjang waktu. Oleh karena itu, gerak lurus beraturan (GLB) juga disebut gerak dengan kecepatan konstan. Secara grafik karakteristik GLB ditunjukkan pada gambar 3.10.

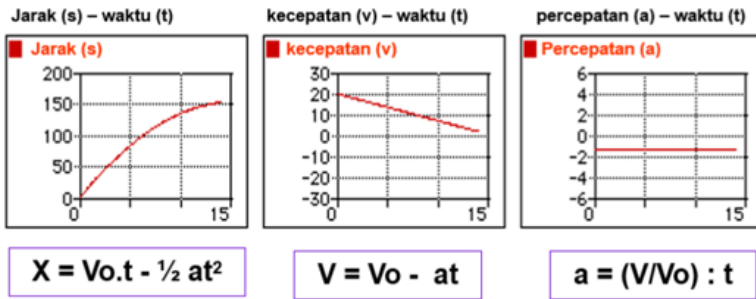
Gerak lurus berubah beraturan adalah gerak suatu benda yang mengalami perubahan kecepatan dengan perubahan percepatan yang tidak konstan (Halliday, D & R. Resnick. 1980; Giancoli C Douglas, 2001; Zemansky, Sears. 1986). Dalam gerak lurus berubah beraturan, percepatan benda berubah-ubah seiring dengan perubahan kecepatannya. Contohnya, saat mobil mulai bergerak dari posisi diam, percepatan mobil akan berubah seiring dengan kecepatannya yang semakin bertambah. Pada awal gerakan, percepatan mobil akan besar karena kecepatannya masih rendah. Namun, saat kecepatannya semakin meningkat, percepatan mobil akan semakin kecil. Jika mobil melakukan pengereman, kecepatannya akan berkurang dan percepatannya akan berubah kembali. Perubahan percepatan dalam gerak lurus berubah beraturan menyebabkan perubahan kecepatan yang tidak konstan, sehingga benda tersebut tidak bergerak dengan kecepatan yang tetap.

Gerak lurus berubah beraturan dibedakan menjadi dua, yaitu GLBB dipercepat dan GLBB diperlambat. Karakteristik grafiknya ditunjukkan pada gambar (3.11 dan 3.12).

Gambar 3.11 Grafik Gerak Lurus Berubah Beraturan dipercepat



Gambar 3.11 Grafik Gerak Lurus Berubah Beraturan dipercepat



Gambar 3.12 Grafik Gerak Lurus Berubah Beraturan diperlambat

Kecepatan GLBB juga dapat ditentukan dengan:

$$V_o^2 = V^2 + 2a \cdot s \text{ (GLBB dipercepat)} \quad (3.20a)$$

$$V_o^2 = V^2 - 2a \cdot s \text{ (GLBB diperlambat)} \quad (3.20b)$$

Salah satu contoh penerapan GLBB adalah Gerak Jatuh Bebas. Percepatan yang digunakan untuk benda jatuh bebas adalah percepatan gravitasi (biasanya $g = 9,8 \text{ m/s}^2$), dengan sumbu koordinat yang dipakai adalah sumbu y (Young, Hugh D. & Freedman, Roger A. 2002.).

$$v = v_0 - g t \quad (3.21)$$

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (3.22)$$

$$v^2 = v_0^2 - 2g (y - y_0) \quad (3.23)$$

Contoh Soal 2:

1. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 27 km/jam, kemudian mobil dipercepat dengan percepatan 2 m/s^2 . Hitunglah kecepatan mobil dan jarak yang ditempuhnya selama 5 detik setelah percepatan tersebut.

Jawab:

Diketahui: $V_0 = 27 \text{ km/jam} = 27000 \text{ m} / 3600\text{s} = 7,5 \text{ m/s}$
 $X_0 = 0$
 $a = 2 \text{ m/s}^2$
 $t = 5 \text{ s}$

Ditanyakan: $v = \dots ?$ dan $X = \dots ?$

Kecepatan mobil	Jarak yang ditempuh mobil
$V = V_0 + at$	$X = X_0 + V_0 \cdot t + 1/2 a \cdot t^2$
$= 7,5 + 2,5$	$= 62,5 \text{ m}$
$= 17,5 \text{ m/s}$	

2. Seorang pemain baseball melempar bola sepanjang sumbu Y dengan kecepatan awal 12 m/s. Berapa waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai ketinggian maksimum dan berapa ketinggian maksimum yang dapat dicapai bola tersebut?

Jawab:

Percepatan bola ketika meninggalkan pemain adalah $a = -g$. $Y = 7,3 \text{ m}$

Kecepatan pada ketinggian maksimum adalah $V = 0$

Waktu untuk mencapai ketinggian maksimum:

$$V = V_0 + gt$$

$$t = (V - V_0) / g = (0 - 12) / (-9,8) = 1,2 \text{ s}$$

Ketinggian maksimum yang dicapai:

$$y = (V^2 - V_0^2) / 2a = (0^2 - 12^2) / 2 (-9,8)$$

$$y = 7,3 \text{ m}$$



Daftar Pustaka

- Bueche, Frederick J. & Hecht, Eugene. 2006. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh (Schaum's Outlines Teori dan Soal-Soal)*. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli C Dougglas, 2001. *Fisika Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D & R. Resnick. 1980. *Physics*. Singapore: John Wiley & Sons,
- Tipler, P.A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Young, Hugh D. & Freedman, Roger A. 2002. *Fisika Universitas (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Zemansky, Sears. 1986. *Fisika Universitas Jilid I (Mekanika, Panas dan Bunyi)*. Jakarta: Bina Cipta.

Profil Penulis



Hadriyanti, S.Pd.

Lahir di Dawi-Dawi (Pomalaa Kab. Kolaka), tepatnya tanggal 2 Nopember 1985. Penulis menempuh Pendidikan mulai tingkat SD (1993-1999), SMP (1999-2001), SMA (2001-2003), dan S1 Pendidikan Fisika (2004-2008). Sejak tahun 2010 hingga 2014, penulis bertugas sebagai Guru PNS di SMP Negeri 3 Tanggetada Kab. Kolaka, namun ditahun 2014 Penulis pindah tugas dan aktif sekarang sebagai Guru Tetap PNS Dinas Kota Makkassar Unit Kerja SMP Negeri 17 Makassar. Penulis aktif mengajar pada Mata Pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Penulis juga aktif terlibat mengikuti pelatihan (workshop) pengembangan kompetensi guru antara lain Pelatihan Kepala Laboratorium IPA di LPMP Kota Makassar (2014), Pembekalan Guru Inti di Bali (2019), Workshop Peningkatan Kompetensi Guru Melalui Pemanfaatan Akun Belajar dan Pembuatan Video Pembelajaran (2021), Diklat Guru Produktif, Pembelajaran Makin Interaktif (2021), Workshop Pembelajaran dan Assesmen Kurikulum Merdeka (2022), dan Pelatihan Persiapan Guru Menyambut Semester Baru Tahun 2023 (2023). Akhirnya karya prestasi ini, penulis dedikasikan kepada masyarakat, bangsa dan negara, semoga apa yang diraih menjadi bermanfaat untuk semuanya.

Email Penulis: hadriysaid@gmail.com

KINEMATIKA DIMENSI 2

I Putu Tedy Indrayana

Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Udayana, Bali-Indonesia

Pendahuluan

Fisika memiliki dua cabang keilmuan berkaitan dengan gerak suatu benda, yaitu kinematika dan dinamika. Kinematika adalah cabang fisika yang mempelajari sifat-sifat fisika gerak suatu benda termasuk besaran-besaran fisika gerak yang relevan. Sifat-sifat fisika yang dimaksudkan misalnya tipe gerakan seperti gerakan beraturan maupun gerakan berubah beraturan. Gerak beraturan adalah gerak suatu benda yang dicirikan dengan kecepatan konstan baik nilai maupun arah. Sebaliknya, gerak berubah beraturan adalah gerakan yang mengalami perubahan kecepatan secara beraturan setiap satuan waktu sehingga benda mengalami percepatan. Dengan demikian, kinematika hanya fokus pada gerakan benda tanpa memperhitungkan penyebab terjadinya gerakan tersebut. Sebaliknya, dinamika adalah cabang fisika yang fokus membahas sifat-sifat dinamika sebuah gerakan. Artinya, dalam dinamika diperhatikan penyebab benda bergerak serta akibat yang dialami oleh benda yang bergerak. Adapun penyebab benda bergerak adalah gaya. Sementara itu, dampak bekerjanya gaya pada benda maka benda akan mendapatkan usaha, memiliki energi, serta momentum.

Terlepas dari kajian dinamika, ruang lingkup kajian kinematika sangat luas menyangkut gerakan sebuah benda baik benda yang dianggap menyerupai benda titik maupun benda rigid. Berdasarkan bentuk lintasannya, gerak benda dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, seperti gerak lurus, gerak melingkar, gerak proyektil/parabola, gerak ellips, serta gerak hiperbola. Berdasarkan sifat-sifat gerakannya, maka gerakan tersebut masih pula dapat dikelompokkan menjadi gerak beraturan dan gerak berubah beraturan. Selain itu, berdasarkan dimensi lintasannya gerak juga dapat diklasifikasikan

menjadi gerak dalam satu dimensi, gerak dalam dua dimensi, serta gerak dalam tiga dimensi. Gerak dalam satu dimensi adalah gerakan yang terjadi pada satu arah sumbu koordinat, seperti gerak melalui garis lurus sepanjang sumbu X atau gerak melalui garis lurus sepanjang sumbu Y. Contoh riil gerakan jenis ini adalah gerak vertikal. Apabila Anda mengamati sebuah benda dilontarkan vertikal ke atas atau dijatuhkan vertikal ke bawah, maka benda ini akan memiliki lintasan lurus secara vertikal (abaikan efek gerakan udara di sekitar benda). Besaran-besaran fisika yang dimiliki oleh benda ini hanya bekerja pada satu sumbu koordinat. Selanjutnya, gerakan dalam dua dimensi adalah gerak yang meliputi dua arah sumbu koordinat. Gerakan ini umumnya dikenal sebagai gerakan benda pada bidang. Contohnya adalah gerak pada bidang X-Y, gerak pada bidang X-Z, maupun gerak pada bidang Y-Z. Contoh riil gerak pada bidang adalah gerak proyektil. Dalam sistem koordinat kartesius X-Y, benda yang bergerak dengan lintasan proyektil akan memiliki komponen-komponen gerak baik terhadap sumbu X maupun sumbu Y. Terakhir, gerakan dalam tiga dimensi adalah gerak yang melibatkan ketiga sumbu koordinat. Gerakan ini sering diistilahkan sebagai gerak dalam ruang. Hampir semua gerakan benda dalam kehidupan sehari-hari termasuk gerak dalam ruang karena kita sejatinya berada dalam ruang koordinat. Contoh riilnya adalah gerakan bola sepak yang ditendang secara melambung oleh pemain bola.

Berdasarkan uraian tersebut, maka pada bab ini dibahas secara spesifik tiga jenis gerakan, yaitu gerak vertikal, gerak proyektil, dan gerak relatif. Pembahasan tentang gerak vertikal meliputi gerak vertikal ke atas dan gerak vertikal ke bawah. Gerak jatuh dan gerak jatuh bebas adalah contoh riil gerak vertikal ke bawah. Sementara itu, gerak relatif adalah jenis gerakan yang bergantung pada kerangka acuan pengamatan. Pada dasarnya kita dapat memberikan definisi sebuah benda mengalami pergerakan apabila benda itu mengalami perubahan posisi terhadap kerangka acuannya. Dengan demikian, kerangka acuan menjadi bagian penting dalam mendefinisikan gerak benda. Besaran-besaran fisika yang menyangkut tentang gerak benda akan bernilai berbeda apabila dalam sebuah gerakan diukur berdasarkan kerangka acuan yang berbeda pula. Oleh karena itu, pembahasan gerak relatif ini difokuskan pada cara meninjau gerak suatu benda terhadap kerangka acuannya.

Kinematika Gerak Vertikal

Gerak vertikal adalah gerak yang lintasannya lurus secara vertikal. Acuan vertikal adalah bidang datar permukaan Bumi. Gerakan benda secara vertikal terkena pengaruh medan gravitasi Bumi yang diwujudkan dalam bentuk percepatan gravitasi Bumi. Oleh karena itu, benda yang bergerak vertikal akan memiliki gerakan lurus berubah beraturan. Nilai kecepatan benda akan berubah secara beraturan setiap satuan waktu.

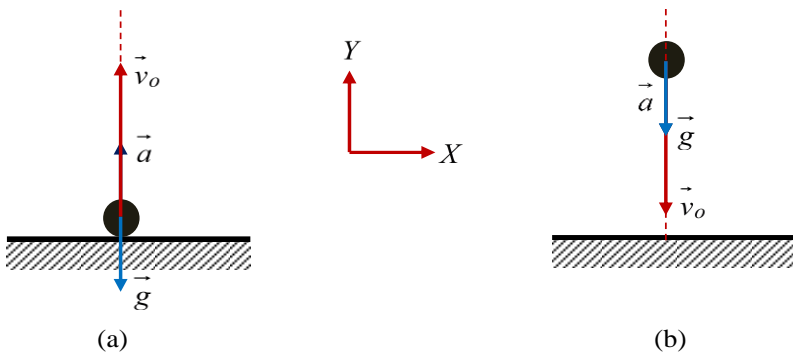
Pembahasan gerak vertikal akan kita klasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu gerak vertikal ke atas dan gerak ke bawah. Ketika benda bergerak secara vertikal ke atas, maka arah gerak benda berlawanan dengan arah medan gravitasi Bumi yang dialami benda (Gambar 4.1a). Sebaliknya, ketika benda bergerak secara vertikal ke bawah maka arah gerak benda searah dengan arah medan gravitasi Bumi (Gambar 4.1b). Oleh karena itu, benda mengalami percepatan yang nilainya konstan yaitu sebesar percepatan gravitasi Bumi. Berdasarkan kondisi tersebut, apabila benda mula-mula bergerak dengan nilai kecepatan awal v_o maka kecepatan benda setiap waktu t dapat dirumuskan dengan persamaan 4.1 dan persamaan 4.2,

$$v(t) = v_o - gt \dots\dots\dots 4.1)$$

untuk benda yang bergerak secara vertikal ke atas dan

$$v(t) = v_o + gt \dots\dots\dots 4.2)$$

untuk benda yang bergerak secara vertikal ke bawah.



Gambar 4.1. Ilustrasi gerak vertikal ke atas (a) dan ke bawah (b).

Berdasarkan persamaan 4.1, benda yang bergerak vertikal ke atas akan mengalami pengurangan nilai kecepatan secara beraturan sebesar gt

setiap satu satuan waktu. Hal ini dikarenakan percepatan benda. Sebaliknya, berdasarkan persamaan 4.2 maka benda yang bergerak vertikal ke bawah akan mengalami penambahan nilai kecepatan secara beraturan sebesar gt setiap satu satuan waktu. Kecepatan rata-rata benda selama bergerak dapat diungkapkan dengan persamaan 4.3,

$$\bar{v} = \frac{v_o + v(t)}{2} \dots\dots\dots 4.3)$$

Nilai kecepatan rata-rata ini sama dengan besar perpindahan benda selama selang waktu $\Delta t = t - t_o = t$ ($t_o = 0$ sekon sebagai acuan waktu mulai bergerak) yang diungkapkan persamaan 4.4,

$$\bar{v} = \frac{y - y_o}{\Delta t} = \frac{y - y_o}{t} \dots\dots\dots 4.4)$$

dimana y menyatakan posisi benda setelah waktu t , y_o adalah posisi awal benda terhadap kerangka acuan, dan $y - y_o$ adalah perpindahan benda selama selang waktu Δt . Dengan mengkombinasi persamaan 4.3 dan persamaan 4.4 maka diperoleh persamaan 4.5,

$$y - y_o = \frac{1}{2}(v_o + v(t))t \dots\dots\dots 4.5)$$

Apabila nilai $v(t)$ pada persamaan 4.1 dan persamaan 4.2 masing-masing disubstitusikan ke persamaan 4.5, maka akan diperoleh persamaan gerak benda, yaitu

$$y - y_o = v_o t - \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots 4.6)$$

untuk benda yang bergerak vertikal ke atas dan

$$y - y_o = v_o t + \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots 4.7)$$

untuk benda yang bergerak vertikal ke bawah. Anda perlu hati-hati bahwa penggunaan persamaan 4.6 dan persamaan 4.7 harus memperhatikan vektor posisi benda. Posisi benda saat waktu t , yaitu y bisa bernilai positif dan bisa bernilai negatif. Posisi y bernilai positif apabila posisi benda saat t lebih tinggi daripada posisi awalnya. Sebaliknya, y bernilai negatif apabila posisi benda saat t lebih rendah daripada posisi awalnya. Dengan demikian, posisi awal benda menjadi kerangka acuan gerak benda secara vertikal.

Apabila nilai t pada persamaan 4.1 dan persamaan 4.2 masing-masing disubstitusikan ke persamaan 4.6 dan persamaan 4.7 maka diperoleh persamaan yang menghubungkan antara nilai kecepatan benda saat t , nilai kecepatan awal benda, percepatan gravitasi, dan perpindahan benda ($y - y_o$),

$$v^2 = v_o^2 - 2g(y - y_o) \dots\dots\dots 4.8)$$

untuk benda yang bergerak vertikal ke atas dan

$$v^2 = v_o^2 + 2g(y - y_o) \dots\dots\dots 4.9)$$

untuk benda yang bergerak vertikal ke bawah.

Contoh soal:

Sebuah bola bermassa $m = 0,25$ kg dilontarkan secara vertikal ke atas dengan nilai kecepatan awal 60 m/s. Besar percepatan gravitasi di tempat pelontaran adalah $9,8$ m/s². Hitung:

- a. posisi bola saat detik-5
- b. posisi tertinggi yang dicapai bola
- c. perpindahan bola setelah detik ke-10

Penyelesaian:

- **Interpretasi fisis:**

Benda bergerak vertikal ke atas, maka nilai kecepatan bola akan berkurang secara beraturan sebesar gt . Pada saat mencapai tinggi tertinggi, maka benda tidak memiliki kecepatan alias kecepatan benda secara sesaat bernilai nol. Setelah itu, benda kembali bergerak mengikuti lintasan mula-mula dengan arah berlawanan arah gerak semula. Posisi mula-mula bola adalah di $y_o = 0$ terhadap lantai pengamat.

- **Analisis matematis:**

- a. Posisi bola saat detik ke-5 dapat dihitung menggunakan persamaan

$$y - y_o = v_o t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y - 0 = 60 \cdot 5 - \frac{1}{2} 10 \cdot 5^2$$

$$y = 60 \cdot 5 - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 5^2 = 177,5 \text{ meter di atas lantai.}$$

- b. Pada posisi tertinggi bola memiliki nilai kecepatan 0 m/s. Bola secara tiba-tiba diam sejenak sebelum mengalami gerakan vertikan ke bawah. Oleh karena itu, perlu dihitung terlebih dahulu waktu yang diperlukan bola untuk mencapai posisi tertinggi lintasan. Gunakan persamaan 1 dengan melibatkan $v_o = 60 \text{ m/s}$, $v = 0 \text{ m/s}$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$,

- Waktu untuk mencapai posisi tertinggi lintasan bola adalah

$$t_{\text{mak}} = \frac{v_o}{g} = \frac{60}{9,8} = 6,12 \text{ s}$$

- Posisi tertinggi bola adalah

$$y_{\text{mak}} - y_o = v_o t_{\text{mak}} - \frac{1}{2} g t_{\text{mak}}^2$$

$$y_{\text{mak}} - 0 = 60 \cdot 6,12 - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 6,12^2$$

$$y_{\text{mak}} = 60 \cdot 6,12 - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 6,12^2 = 183,52 \text{ m di atas lantai.}$$

- c. Perpindahan bola setelah detik ke-10 dapat dihitung menggunakan persamaan 4.6, yaitu:

$$y - y_o = v_o t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y - y_o = 60 \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 10^2 = 110 \text{ m ke atas.}$$

Apabila diperhatikan secara lebih detail, tampak bahwa saat detik ke-10 posisi bola adalah pada ketinggian 110 meter di atas tanah. Posisi ini lebih di bawah daripada posisi tertinggi bola yaitu 183,52 meter. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada detik ke-10 bola sudah kembali bergerak secara vertikal ke bawah.

Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas (*free-fall motion*) adalah kondisi khusus yang dialami oleh benda yang mengalami gerak vertikal ke bawah. Perhatikan ilustrasi pada Gambar 1b! Benda yang bergerak secara jatuh bebas harus memenuhi empat persyaratan berikut:

1. Benda bergerak secara vertikal ke bawah.
2. Gerak benda hanya dipengaruhi oleh medan gravitasi Bumi.
3. Tidak ada gaya eksternal yang mempengaruhi gerakan benda.
4. Benda mengalami percepatan yang besarnya sama dengan kuat medan gravitasi Bumi di titik pengamatan, yaitu $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$.

Contoh soal:

Buah semangka bermassa $m = 1 \text{ kg}$ dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 100 meter di atas permukaan tanah. Besar percepatan gravitasi di tempat tersebut adalah $9,8 \text{ m/s}^2$. Hitung waktu yang dibutuhkan semangka hingga menumbuk permukaan tanah.

Penyelesaian:

- **Interpretasi fisis:**

Gerakan buah semangka hanya dipengaruhi oleh medan gravitasi Bumi, yaitu $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Selanjutnya, gunakan posisi awal bola sebagai kerangka acuan positif sehingga ketinggian mula-mula bola sama dengan jarak yang ditempuh bola selama bergerak vertikal ke bawah.

- **Analisis matematis:**

Gunakan persamaan 4.2 untuk melakukan perhitungan.

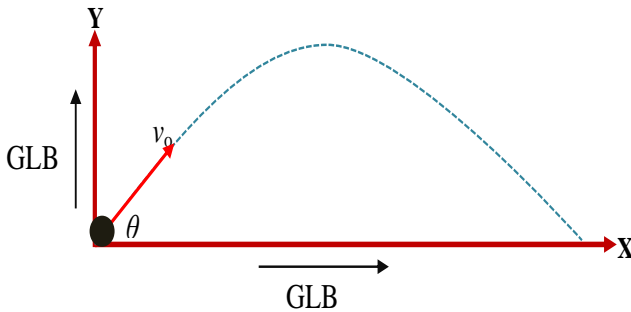
$$y - y_0 = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$100 - 0 = \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{200}{9,8}} \approx 4,52 \text{ sekon.}$$

Kinematika Gerak Projektil

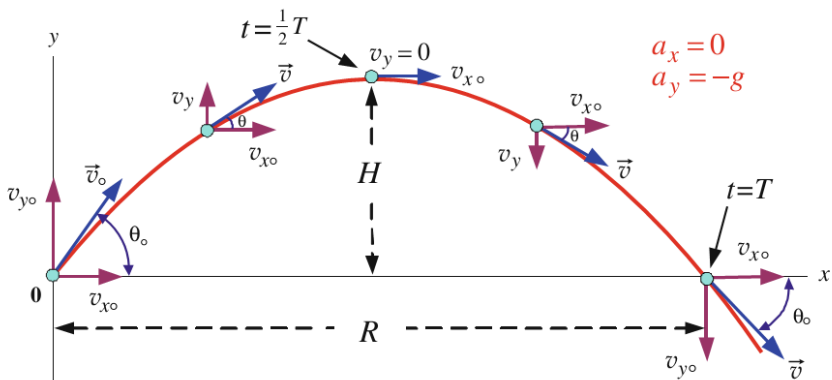
1. Gerak Projektil pada Bidang Datar

Gerak projektil adalah gerak benda dalam dua dimensi yang melibatkan dua sumbu koordinat seperti diilustrasikan pada Gambar 4.2. Dalam koordinat kartesius X-Y, tampak bahwa benda yang bergerak dengan lintasan projektil mengalami dua jenis gerakan, yaitu gerak lurus beraturan (GLB) searah horisontal (sumbu X+) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) searah sumbu vertikal (sumbu Y+).



Gambar 4.2. Ilustrasi lintasan benda yang bergerak seperti projektil (gerak parabola).

Pada arah sumbu X, benda tidak mengalami percepatan. Kecepatan benda bersifat konstan baik nilai maupun arahnya. Sementara itu, pada arah sumbu Y, gerakan benda dipengaruhi oleh percepatan gravitasi Bumi sehingga benda bergerak secara lurus berubah beraturan. Kecepatan benda berubah secara beraturan. Perpaduan kedua gerakan tersebut menghasilkan lintasan benda yang berbentuk parabola. Uraian lebih detail tentang kecepatan benda setiap satuan waktu dapat diilustrasikan melalui Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Ilustrasi detail komponen kecepatan benda yang bergerak parabola.

Berdasarkan Gambar 4.3, pada arah vertikal kecepatan benda berangsur-angsur berkurang secara beraturan sampai dengan bernilai nol di posisi tertinggi lintasan. Pada posisi ini, kecepatan bola sama dengan komponen arah horisontal kecepatan awal benda. Setelah itu, komponen kecepatan arah vertikal bola berubah arah menuju ke pusat Bumi dan nilainya secara beraturan bertambah sebesar gt hingga akhirnya mencapai permukaan tanah/lantai dengan nilai kecepatan komponen vertikal sama dengan nilai komponen kecepatan awal pada arah vertikal. Perlu diperhatikan kembali bahwa pada gerak proyektil ini kita tetap mengabaikan gerak udara di sekitar benda. Persamaan kecepatan benda pada arah vertikal dapat dinyatakan dengan persamaan 4.10,

$$v(t)_y = v_o \sin \theta - gt \dots\dots\dots 4.10)$$

Sementara itu, komponen kecepatan searah horisontal adalah

$$v(t)_x = v_o \cos \theta = \text{konstan} \dots\dots\dots 4.11)$$

Nilai kecepatan benda saat waktu- t adalah

$$v(t) = \sqrt{v(t)_x^2 + v(t)_y^2} \dots\dots\dots 4.12)$$

Posisi benda selama pergerakannya dapat diungkapkan dalam bentuk koordinat posisi yang memenuhi (x, y) dimana x menyatakan posisi horisontal benda dari titik koordinat acuan dan y menyatakan posisi ketinggian benda. Posisi horisontal benda dinyatakan sebagai jangkauan mendatar yang dicapai benda dan dinyatakan secara matematis dengan persamaan 4.13,

$$x = x_o + v_o \cos \theta \cdot t \dots\dots\dots 4.13)$$

Ketinggian yang dicapai benda pada saat t adalah

$$y = y_o + v_o \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots 4.14)$$

dimana y_o menyatakan posisi ketinggian mula-mula benda dari titik koordinat acuan.

Dengan menggunakan kondisi-kondisi fisis yang telah dikemukakan sebelumnya, maka kita dapat menghitung waktu yang diperlukan benda untuk mencapai posisi ketinggian maksimum adalah

$$t_{ymak} = t_H = \frac{v_o \sin \theta}{g} \dots\dots\dots 4.15)$$

Apabila koordinat posisi awal benda adalah $(x_o, y_o) = (0,0)$, maka waktu yang diperlukan benda mencapai jarak horisontal maksimum adalah dua kali waktu mencapai posisi ketinggian maksimum, yaitu

$$t_{xmak} = t_R = \frac{2v_o \sin \theta}{g} \dots\dots\dots 4.16)$$

Secara umum, jarak jangkauan maksimum pada arah horisontal dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$X_{mak} = x_o + \frac{v_o^2 \sin 2\theta}{g}, \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2) \dots\dots\dots 4.17)$$

Sementara itu, posisi ketinggian maksimum yang dicapai benda adalah

$$Y_{mak} = x_o + \frac{v_o^2 \sin^2 \theta}{2g}, \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2) \dots\dots\dots 4.18)$$

Persamaan lintasan benda yang bergerak secara parabola dapat diperoleh dengan cara mensubstitusi nilai waktu t pada persamaan 4.13 ke persamaan 4.14, yaitu

$$t = \frac{x - x_o}{v_o \cos \theta} \dots\dots\dots 4.19)$$

dan diperoleh persamaan lintasan yaitu

$$y = y_o + v_o \sin \theta \cdot \left(\frac{x - x_o}{v_o \cos \theta} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{x - x_o}{v_o \cos \theta} \right)^2$$

$$y(x) = y_o + (x - x_o) \tan \theta - \frac{1}{2} g \left(\frac{x - x_o}{v_o \cos \theta} \right)^2 \dots\dots\dots 4.20)$$

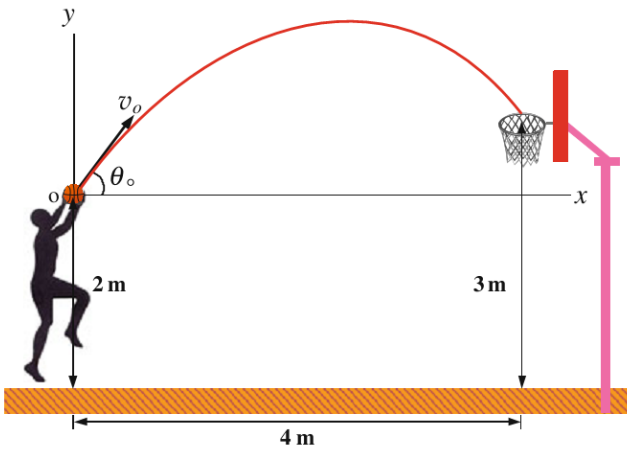
Apabila koordinat posisi awal benda adalah $(x_o, y_o) = (0,0)$ maka persamaan lintasan benda menjadi,

$$y(x) = y_o + x \tan \theta - \left(\frac{g}{2(v_o^2 \cos^2 \theta)} \right) x^2, \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2) \quad 21)$$

Persamaan 4.21 secara empiris menunjukkan persamaan parabola dengan koefisien x^2 adalah $-\left(\frac{g}{2(v_o^2 \cos^2 \theta)} \right)$ dan koefisien x adalah $\tan \theta$, serta konstantanya adalah y_o .

Contoh soal:

Seorang pemain basket melempar bola dengan sudut elevasi 60° menuju ke ring basket seperti diilustrasikan dengan gambar berikut. Hitung kecepatan awal lemparan bola sehingga bola bisa masuk ke dalam ring sesuai kondisi yang diberikan! Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.



Penyelesaian:

- **Interpretasi fisis:**

Berdasarkan gambar, jarak jangkauan bola secara horisontal adalah 4 meter. Bola dilemparkan dari ketinggian awal 2 meter dari lantai. Ketinggian ring basket adalah 3 meter. Jadi, ketinggian ring basket berada pada ketinggian 1 meter di atas posisi ketinggian awal. Dengan demikian, untuk menghitung nilai kecepatan awal lemparan bola, maka kita dapat menghitung terlebih dahulu waktu yang diperlukan bola untuk mencapai jarak jangkauan bola pada arah horisontal itu. Kemudian, gunakan persamaan posisi ketinggian bola sebagai fungsi waktu untuk menghitung nilai kecepatan awal bola.

- **Analisis matematis:**

Berdasarkan persamaan 4.13, gunakan $x_o = 0$ meter maka diperoleh

$$x = x_o + v_o \cos \theta \cdot t \text{ maka } t = \frac{x}{v_o \cos \theta} = \frac{4}{v_o \cos 60} = \frac{8}{v_o}$$

Gunakan persamaan 4.14 yaitu

$$\Rightarrow y = y_o + v_o \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\Rightarrow 3 = 2 + v_o \sin 60 \cdot \frac{8}{v_o} - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot \left(\frac{8}{v_o}\right)^2$$

$$\Rightarrow 3 = 2 + 4\sqrt{3} - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot \left(\frac{8}{v_o}\right)^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{8}{v_o}\right)^2 = \frac{2}{9,8} (2 + 4\sqrt{3} - 3)$$

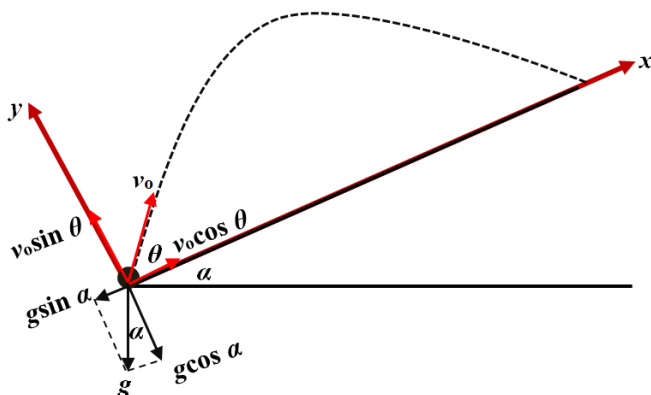
$$\Rightarrow v_o = \sqrt{\frac{64 \cdot 9,8}{2 \cdot (2 + 4\sqrt{3} - 3)}} \approx 7,28 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan awal bola adalah 7,28 m/s.

2. Gerak Projektil pada Bidang Miring

Sebelumnya telah dibahas secara detail tentang gerak projektil pada bidang datar. Dalam kehidupan sehari-hari, permasalahan gerak projektil tidak saja sesederhana pada bidang datar, melainkan juga pada bidang miring. Misalkan sebuah bola sepak ditendang dari lantai miring dengan elevasi tertentu, maka nilai ketinggian maksimum yang dicapai bola akan berbeda jika dibandingkan dengan bola yang ditendang dari lantai datar (elevasi nol). Oleh karena itu, pada bagian ini akan dibahas secara detail gerak projektil pada bidang miring.

Perhatikan Gambar 4.4! Misalkan sebuah benda dilemparkan dari dasar bidang miring yang memiliki sudut elevasi α dengan sudut lemparan adalah θ terhadap bidang miring dan kecepatan awal v_0 .



Gambar 4.4. Ilustrasi gerak projektil ke atas bidang miring dengan elevasi α .

Berdasarkan Gambar 4.4, gerak benda searah sumbu X dan Y dipengaruhi oleh percepatan $a_x = -g \sin \alpha$ dan $a_y = -g \cos \alpha$. Tanda minus menyatakan arah gerak benda berlawanan dengan arah komponen vektor percepatan gravitasi g pada sumbu X dan Y (**gunakan arah sumbu koordinat X dan Y sebagai acuan positif**). Dengan demikian, gunakan persamaan 10 – 21 untuk menentukan persamaan setiap parameter gerak benda pada kasus ini.

Persamaan kecepatan benda pada arah vertikal (sumbu Y) dapat dinyatakan dengan persamaan 10,

$$v(t)_y = v_0 \sin \theta + a_y t = v_0 \sin \theta - g \cos \alpha t \dots\dots\dots 4.22)$$

Sementara itu, komponen kecepatan searah horisontal (sumbu X) adalah

$$v(t)_x = v_o \cos \theta + a_x t = v_o \cos \theta - g \sin \alpha t \dots\dots\dots 4.23)$$

Nilai kecepatan benda saat waktu- t adalah

$$v(t) = \sqrt{v(t)_x^2 + v(t)_y^2} \dots\dots\dots 4.24)$$

Koordinat posisi benda saat waktu t , yaitu (x, y) dirumuskan sebagai berikut,

$$x = x_o + v_o \cos \theta \cdot t - \frac{1}{2} g \sin \alpha t^2 \dots\dots\dots 4.25)$$

$$y = y_o + v_o \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g \cos \alpha t^2 \dots\dots\dots 4.26)$$

dimana x_o dan y_o menyatakan koordinat posisi mula-mula benda dari titik koordinat acuan. Misalkan permukaan bidang miring digunakan sebagai acuan ketinggian benda, maka pada saat benda kembali ke bidang miring maka benda telah menempuh jarak jangkauan pada sumbu X sebesar X_{mak} . Pada titik ini, ketinggian benda dari permukaan bidang miring adalah nol, maka waktu yang diperlukan benda untuk mencapai X_{mak} adalah

$$y = y_o + v_o \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g \cos \alpha t^2$$

$$y_{Xmak} = y_o + v_o \sin \theta \cdot t_{Xmak} - \frac{1}{2} g \cos \alpha t_{Xmak}^2$$

$$0 = 0 + v_o \sin \theta \cdot t_{Xmak} - \frac{1}{2} g \cos \alpha t_{Xmak}^2$$

$$0 = \left(v_o \sin \theta - \frac{1}{2} g \cos \alpha t_{Xmak} \right) t_{Xmak}$$

$$t_{Xmak} = 0 \text{ atau } t_{Xmak} = \frac{2v_o \sin \theta}{g \cos \alpha} \dots\dots\dots 4.27)$$

Jadi, waktu untuk mencapai jarak jangkauan searah sumbu X yang maksimum adalah $t_{Xmak} = \frac{2v_o \sin \theta}{g \cos \alpha}$.

Berdasarkan persamaan 4.25, maka perpindahan benda sejajar sumbu X atau jarak jangkauan X_{mak} yaitu,

$$X_{\text{mak}} = x_o + v_o \cos \theta \cdot t_{X_{\text{mak}}} - \frac{1}{2} g \sin \alpha t_{X_{\text{mak}}}^2 \dots\dots\dots 4.28)$$

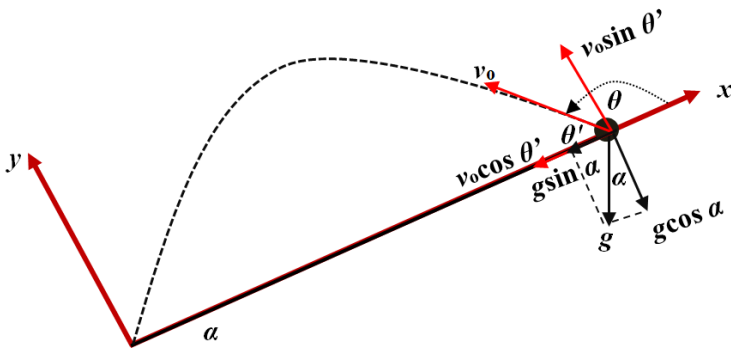
Jika $x_o = 0$ dan $y_o = 0$, maka

$$X_{\text{mak}} = \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [\sin(2\theta + \alpha) - \sin \alpha] \dots\dots\dots 4.29)$$

Anda dapat menurunkan persamaan 4.29 dengan mudah menggunakan aljabar trigonometri. Sementara itu, ketinggian maksimum yang dicapai benda dari bidang miring dapat dihitung dengan menggunakan konsep yang sama seperti gerak proyektil pada bidang datar, sehingga diperoleh,

$$Y_{\text{mak}} = \frac{v_o^2 \sin^2 \theta}{2g \cos^2 \alpha} \dots\dots\dots 4.30)$$

Bagaimana jika benda dilemparkan ke bawah dari atas bidang miring seperti Gambar 5?



Gambar 4.5. Ilustrasi gerak proyektil ke bawah bidang miring dengan elevasi α .

Berdasarkan Gambar 4.5, sudut $\theta = 180^\circ - \theta'$. Kasus ini dapat diselesaikan dengan konsisten menggunakan konsep gerak proyektil ke atas bidang miring. Apabila perpindahan benda yang bergerak ke atas bidang miring dirumuskan dengan persamaan 4.29, maka perpindahan benda yang bergerak ke bawah bidang miring dapat dirumuskan dengan persamaan 4.31,

$$\begin{aligned}
 X_{mak} &= \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [\sin(2\theta + \alpha) - \sin \alpha] \\
 - X_{mak} &= \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [\sin(2(180^\circ - \theta') + \alpha) - \sin \alpha] \\
 - X_{mak} &= \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [\sin(360^\circ - (2\theta' - \alpha)) - \sin \alpha] \\
 - X_{mak} &= \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [-\sin(2\theta' - \alpha) - \sin \alpha] \\
 X_{mak} &= \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [\sin(2\theta' - \alpha) + \sin \alpha] \dots\dots\dots 4.31)
 \end{aligned}$$

Contoh soal:

Sebuah proyektil dilontarkan dari dasar bukit menuju ke atas dengan kecepatan 10 m/s dan sudut elevasi 30° terhadap permukaan miring bukit. Apabila kemiringan permukaan lereng bukit adalah 30° , maka hitung jarak jangkauan horisontal yang mampu dicapai proyektil! Gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Penyelesaian:

- **Interpretasi fisis:**

Soal ini memiliki konsep sama dengan gerak proyektil ke atas bidang miring. Oleh karena itu, perhatikan kontribusi vektor percepatan gravitasi g baik searah sumbu X maupun sumbu Y. Gerak searah sumbu X dan Y masing-masing adalah gerak GLBB.

- **Analisis matematis:**

Berdasarkan persamaan 4.29, maka jarak jangkauan horisontal yang mampu ditempuh proyektil adalah

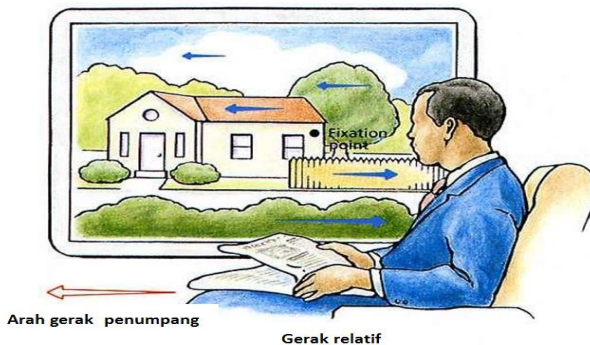
$$X_{mak} = \frac{v_o^2}{g \cos^2 \alpha} [\sin(2\theta + \alpha) - \sin \alpha]$$

$$X_{mak} = \frac{10^2}{10 \cos^2 30} [\sin(60 + 30) - \sin 30] = \frac{10}{3/4} \cdot \frac{1}{2} = 6,67 \text{ meter.}$$

Jadi, jarak jangkauan horisontal proyektil adalah 6,67 meter.

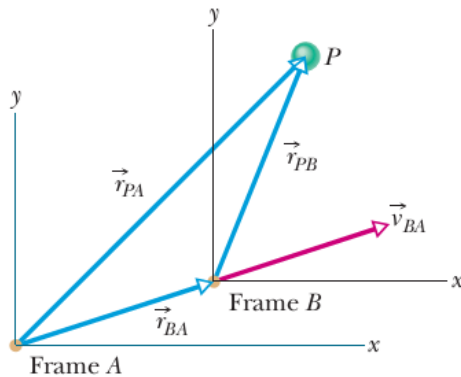
Kinematika Gerak Relatif

Gerak didefinisikan sebagai perubahan posisi sebuah benda terhadap kerangka acuannya. Kerangka acuan (*frame of reference*) menjadi bagian penting dalam mengevaluasi gerak sebuah benda. Gerak benda menjadi bersifat relatif tergantung pada kerangka acuannya. Sebagai contoh, ketika Anda berada dalam sebuah kereta yang bergerak. Anda melihat benda-benda yang berada di luar kereta yang bergerak terhadap Anda (Gambar 4.5). Lalu pertanyaan Anda adalah siapakah yang sebenarnya bergerak? Tentu benda yang bergerak adalah tergantung pengamat yang dalam hal ini dapat berperan sebagai kerangka acuan gerak benda. Apabila pengamat berada di luar kereta, tentu yang bergerak adalah Anda yang berada di dalam kereta. Anda bergerak dengan kecepatan v relatif terhadap pengamat. Sementara benda-benda di luar kereta akan diam menurut pengamat itu.



Gambar 4.4. Ilustrasi gerak relatif yang dirasakan oleh seorang penumpang kereta.

Secara fisika, gerak relatif dalam dimensi 2 dapat diilustrasikan melalui Gambar 4.5 berikut. Dua orang pengamat berada pada dua kerangka acuan, yaitu A dan B. Kedua pengamat mengamati sebuah partikel P. Pengamat B berada pada sebuah kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan \vec{v}_{BA} relatif terhadap kerangka acuan A. Vektor posisi kerangka acuan B terhadap kerangka acuan A dinyatakan dengan \vec{r}_{BA} . Sementara itu, posisi partikel P terhadap pengamat di kerangka acuan A dinyatakan dengan \vec{r}_{PA} dan \vec{r}_{PB} terhadap pengamat di kerangka acuan B.



Gambar 4.5. Ilustrasi gerak relatif oleh dua kerangka acuan A dan B terhadap posisi partikel P.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka posisi partikel P terhadap kerangka acuan A dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$\vec{r}_{PA} = \vec{r}_{PB} + \vec{r}_{BA} \dots\dots\dots 4.32)$$

Kecepatan relatif partikel P oleh pengamat di kerangka acuan A dinyatakan dengan persamaan 33,

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA} \dots\dots\dots 4.33)$$

Berdasarkan persamaan 33, maka dapat diketahui bahwa percepatan partikel P menurut kerangka acuan A dan B adalah sama, yaitu

$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} \dots\dots\dots 4.34)$$

dengan catatan bahwa kedua kerangka acuan bersifat inersial.

Contoh soal 1:

Posisi sebuah partikel P terhadap kerangka acuan O yang diam terhadap tanah adalah dinyatakan dengan vektor $\vec{r} = 4t^2\hat{i} - 2t\hat{j} + \hat{k}$ (meter). Kerangka acuan lainnya yaitu O' bergerak secara konstan relatif terhadap O dengan kecepatan $\vec{v} = 5 \text{ m/s}$. Tentukan:

- vektor kecepatan partikel menurut kedua kerangka acuan!
- percepatan partikel menurut kedua kerangka acuan!

Penyelesaian:

- Interpretasi fisis:**

Apabila partikel tersebut bergerak selama selang waktu Δt tertentu, maka kecepatan partikel terhadap kerangka acuan O

yaitu $\vec{v}_{PO} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. Sementara itu, $\vec{v} = 5\hat{i}$ m/s adalah kecepatan

gerak kerangka O' terhadap O, sehingga $\vec{v}_{O'O} = 5 \text{ m/s}$.

Kecepatan partikel menurut kedua kerangka acuan akan bernilai berbeda, sementara itu percepatan partikel akan tetap sama menurut O maupun O'.

- Analisis matematis:**

- Kecepatan partikel menurut kerangka acuan O adalah

$$\vec{v}_{PO} = \frac{d\vec{r}_{PO}}{dt} = \frac{d}{dt}(4t^2\hat{i} - 2t\hat{j} + \hat{k}) = 8t\hat{i} - 2\hat{j} \text{ (m/s)}.$$

Dengan demikian, kecepatan partikel menurut kerangka O' adalah

$$\vec{v}_{PO'} = \vec{v}_{PO} + \vec{v}_{OO'} = (8t\hat{i} - 2\hat{j}) + (-5\hat{i}) \text{ ingat } \vec{v}_{OO'} = -\vec{v}_{O'O}$$

$$\vec{v}_{PO'} = \vec{v}_{PO} + \vec{v}_{OO'} = (8t - 5)\hat{i} - 2\hat{j} \text{ (m/s)}$$

Jadi kecepatan partikel menurut pengamatan yang di kerangka acuan O dan O' adalah berbeda.

- Percepatan partikel dapat dicari dengan melakukan turunan sebanyak satu kali terhadap kecepatannya, yaitu

$$\hat{a}_{PO} = \frac{d\vec{v}_{PO}}{dt} = \frac{d}{dt}(8t\hat{i} - 2t\hat{j}) = 8\hat{i} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Ini adalah percepatan partikel P terhadap kerangka acuan O.

Percepatan partikel terhadap kerangka acuan O' adalah

$$\hat{a}_{PO'} = \frac{d\vec{v}_{PO'}}{dt} = \frac{d}{dt}((8t - 5)\hat{i} - 2t\hat{j}) = 8\hat{i} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Percepatan ini sama dengan percepatan partikel menurut kerangka acuan O.

Contoh soal 2:

Posisi sebuah partikel P terhadap kerangka acuan O yang diam terhadap tanah adalah dinyatakan dengan vektor $\vec{r}_{PO} = 4t\hat{i} - 2t^2\hat{j} + \hat{k}$ (meter). Kerangka acuan lainnya yaitu O' bergerak secara konstan relatif terhadap O. Posisi partikel P menurut kerangka acuan O' adalah $\vec{r}_{PO'} = 8t\hat{i} - 2t^2\hat{j} + \hat{k}$ (meter). Tentukan:

- vektor kecepatan kerangka acuan O' terhadap O!
- percepatan partikel menurut kedua kerangka acuan!

Penyelesaian:

- Interpretasi fisis:**

Kecepatan partikel terhadap suatu kerangka acuan dirumuskan dengan $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. Vektor kecepatan partikel akan berbeda menurut kerangka acuannya, yaitu O dan O'. Sementara itu, percepatan partikel akan sama menurut kedua kerangka acuan karena kerangka acuan tersebut bersifat inersial.

- Analisis matematis:**

- Kecepatan partikel menurut kerangka acuan O adalah

$$\vec{v}_{PO} = \frac{d\vec{r}_{PO}}{dt} = \frac{d}{dt}(4t\hat{i} - 2t^2\hat{j} + \hat{k}) = 4\hat{i} - 4t\hat{j} \text{ (m/s)}.$$

Kecepatan partikel menurut kerangka acuan O' adalah

$$\vec{v}_{PO'} = \frac{d\vec{r}_{PO'}}{dt} = \frac{d}{dt} (8t\hat{i} - 2t^2\hat{j} + \hat{k}) = 8\hat{i} - 4t\hat{j} \text{ (m/s)}.$$

Dengan demikian, kecepatan kerangka acuan O' terhadap O adalah

$$\vec{v}_{O'O} = \vec{v}_{O'P} + \vec{v}_{PO} \quad \text{ingat } \vec{v}_{O'P} = -\vec{v}_{PO'}$$

$$\vec{v}_{O'O} = -(8\hat{i} - 4t\hat{j}) + (4\hat{i} - 4t\hat{j}) = -4\hat{i} \text{ (m/s)}$$

- b. Percepatan partikel P terhadap kerangka acuan O adalah

$$\hat{a}_{PO} = \frac{d\vec{v}_{PO}}{dt} = \frac{d}{dt} (4\hat{i} - 4t\hat{j}) = -4\hat{j} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Percepatan partikel terhadap kerangka acuan O' adalah

$$\hat{a}_{PO'} = \frac{d\vec{v}_{PO'}}{dt} = \frac{d}{dt} (8\hat{i} - 4t\hat{j}) = -4\hat{j} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Contoh soal 3:

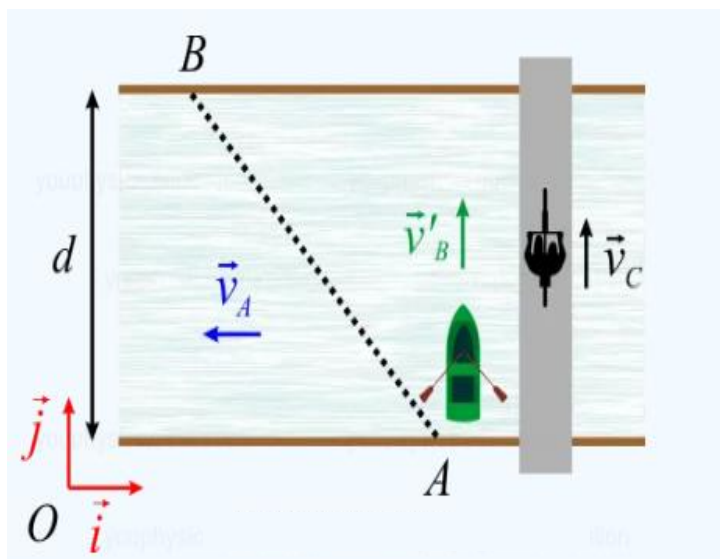
Pada suatu hari Minggu, Putu Narada bersepeda santai melewati sebuah jembatan yang menghubungkan tepi-tepi sebuah sungai. Putu Narada mengendarai sepeda dengan kecepatan $\vec{v}_c = 2\hat{j}$ m/s terhadap tanah. Pada saat yang bersamaan, Putu Narada melihat ada sebuah *boat* yang bergerak menyebrangi sungai dengan kecepatan $\vec{v}_b = 4\hat{j}$ m/s terhadap air sungai. Sementara itu, air sungai mengalir dengan kecepatan $\vec{v}_a = -6\hat{i}$ m/s terhadap tanah. Apabila lebar sungai adalah $d = 40$ m, maka tentukan:

- vektor kecepatan *boat* terhadap tanah!
- vektor kecepatan *boat* terhadap Putu Narada!
- waktu yang dibutuhkan *boat* untuk menyebrangi sungai!
- jarak total yang ditempuh *boat* selama menyebrangi sungai!
- waktu yang diperlukan *boat* untuk menyebrangi sungai apabila kecepatan aliran sungai menjadi dua kali semula!

Penyelesaian:

- **Interpretasi fisis:**

Kondisi fisis soal ini dapat digambarkan sebagai berikut.



Kita misalkan tanah sebagai kerangka acuan inersial, begitu pula aliran air sungai serta Putu Narada yang mengendarai sepeda. Kerangka acuan tanah dalam hal ini dimisalkan adalah titik O.

Ketika *boat* menyebrangi sungai, maka *boat* tidak dapat bergerak secara tegak lurus karena pengaruh adanya aliran air sungai. Apabila air sungai diam, maka *boat* mampu menyebrang secara tegak lurus (searah sumbu Y). Dengan demikian, lintasan yang ditempuh *boat* adalah garis AB.

- **Analisis matematis:**

- a. Kecepatan *boat* terhadap tanah adalah

$$\vec{v}_{bO} = \vec{v}_{ba} + \vec{v}_{aO} = 4\hat{j} - 6\hat{i} \text{ (m/s)}.$$

- b. Kecepatan *boat* terhadap Putu Narada adalah

$$\vec{v}_{bc} = \vec{v}_{bO} + \vec{v}_{Oc} = (4\hat{j} - 6\hat{i}) - 2\hat{j} = 2\hat{j} - 6\hat{i} \text{ (m/s)}.$$

- c. Waktu yang dibutuhkan *boat* untuk menyebrangi sungai adalah

$$t_y = \frac{d_y}{\bar{v}_{bO_y}} = \frac{40}{4} = 10 \text{ sekon.}$$

- d. Untuk mencari jarak total yang ditempuh *boat* (jarak AB), maka perlu dihitung terlebih dahulu jarak horisontal perpindahan *boat* akibat adanya aliran air sungai. Oleh karena itu, waktu yang diperlukan *boat* untuk berpindah secara tegak lurus aliran arus sama dengan waktu yang diperlukan *boat* untuk berpindah secara sejajar aliran arus, yaitu $t_y = t_x$

$$d_x = \bar{v}_{bO_x} \cdot t_x = 6 \cdot 10 = 60 \text{ meter.}$$

Jarak total AB adalah

$$d_{AB} = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} = \sqrt{60^2 + 40^2} \approx 72 \text{ meter.}$$

- e. Perhatikan vektor kecepatan *boat* terhadap tanah. Komponen sumbu X kecepatan ini diberikan oleh kecepatan aliran air terhadap kerangka acuan O. Oleh karena itu, semakin besar nilai kecepatan aliran air terhadap O, maka nilai komponen X kecepatan *boat* terhadap tanah semakin besar, tetapi nilai komponen Y kecepataannya adalah tetap 4 m/s. Waktu yang diperlukan *boat* menyebrangi sungai juga tetap. Akan tetapi, nilai perpindahan *boat* sejajar aliran air sungai akan semakin besar (perhatikan jawaban pertanyaan d). Akibatnya, jarak total AB akan semakin besar karena nilai d_x semakin besar.

Contoh soal 4:

Sebuah kereta bergerak ke arah utara dengan kecepatan 54 km/jam. Seekor monyet berlari di atas atap kereta dengan kecepatan 18 km/jam berlawanan dengan arah gerak kereta. Seorang pengamat berdiri di pinggir rel kereta. Berapakah kecepatan monyet menurut pengamat?

Penyelesaian:

- **Interpretasi fisis:**

Berdasarkan cerita tersebut, diketahui nilai kecepatan kereta terhadap pengamat adalah $v_{KP} = 54$ km/jam dan nilai kecepatan monyet terhadap kereta adalah $v_{MK} = -18$ km/jam. Berdasarkan pengamat yang berdiri di pinggir rel, maka monyet akan tampak bergerak lebih cepat.

- **Analisis matematis:**

Kecepatan monyet terhadap pengamat adalah

$$\vec{v}_{MP} = \vec{v}_{MK} + \vec{v}_{KP} = -18 + 54 = 36 \text{ km/jam.}$$

Jadi, kecepatan monyet terhadap pengamat adalah 36 km/jam.

Daftar Pustaka

- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2015). *Fundamental Physics 10th Edition*. New York: Addison-Wesley.
- Hewit, P.G. (2006). *Conceptual Physics 10th Edition*. The United State of America: Pearson Addison Wesley.
- Nolan, P.J. (2005). *Fundamental of College Physics 5th Edition*. The United State of America: Pearson Custom Publishing.
- Radi, H.A & Rasmussen, J.O. (2013). *Principle of Physics for Scientist and Engineers*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Serway, R.A & Jewett, J. (2014). *Physics for Scientists and Engineers*. Singapore: Brooks/Cole Cengage Learning.
- Tipler, P.A. (2008). *Physics for Scientists and Engineers 6th Edition*. New York: W. H. Freeman and Company.

Profil Penulis



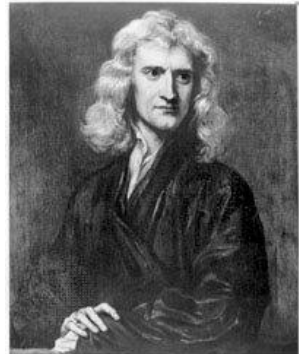
I Putu Tedy Indrayana, S.Pd., M.Sc.

Penulis lahir di Desa Gunaksa, Kecamatan Dawan, Kabupaten Klungkung Bali pada tahun 1991. Penulis menyelesaikan studi sarjana dari Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja pada tahun 2013 dan jenjang magister di Program studi S2 Fisika Departemen Fisika FMIPA Universitas Gajah Mada Yogyakarta pada tahun 2016. Saat ini penulis menjadi Staf Dosen Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Udayana. Penulis menekuni bidang Fisika Material dan Instrumentasi. Selain meneliti, penulis juga aktif menulis buku dibidang fisika dan kependidikan fisika. Bagi pembaca yang ingin mengetahui profil penulis secara lebih detail dapat mengunjungi laman website penulis melalui link <https://bit.ly/SidewiTedyFisika>.

Gabriela Elsandika
Universitas Palangka Raya

Pada topik kinematika telah dibahas sifat gerak sebuah benda tanpa mempertimbangkan aspek penyebab geraknya. Seperti penyebab roket bisa meluncur dari *launcher* atau penyebab gerak benda cepat atau lambat. Hubungan sebab-akibat antara penyebab gerak dengan aspek gerak sebuah benda (perpindahan, kecepatan, percepatan) selanjutnya akan dibahas dalam topik dinamika gerak. Besaran gaya diperkenalkan sebagai aspek penyebab gerak yang sebagian besar diakomodasi oleh Hukum Newton dalam mekanika klasik.

Aspek penyebab gerak perlu dipelajari untuk memecahkan berbagai kasus dalam kegiatan sehari-hari. Salah satu contoh kasus seperti pada gambar 5.2. Pada September 2004 malam hari, sebuah mobil penumpang jatuh ke dermaga di Galway, Irlandia. Untuk mengevakuasi mobil tersebut sebuah *crane* didatangkan. Sayangnya *crane* tidak cukup kuat untuk menahan beban mobil, sehingga *crane* ikut terguling ke dermaga. Dalam kasus ini ada beberapa besaran penyebab gerak yang perlu dipertimbangkan. Misalnya massa beban yang hendak dievakuasi, jarak antara lengan *crane* dengan beban, ataupun adanya torsi yang menyebabkan tendesi gerak memutar. Berdasarkan hasil identifikasi



Gambar 5. 1 Isaac
Newton (1643-1727)
Sumber: Britannica/
<https://www.britannica.com/biography/Isaac-Newton>

maka diperlukan gaya lain yang berasal dari berat minimal *crane* yang untuk dapat mengangkat mobil.



Gambar 5. 2 (a) sebuah crane digunakan untuk mengangkat mobil yang jatuh ke dermaga (b) crane ikut jatuh ke dermaga karena tidak memperhitungkan aspek penyebab gaya (c) crane yang lain digunakan untuk mengangkat mobil dengan memperhitungkan aspek penyebab gaya

Sumber: Safety Moment/ <http://www.safetymoment.org/heavy-construction/heavy-lifting-make-sure-crane-is-stabilized-and-has-capacity>

Penyebab sebuah benda bergerak disebut dengan gaya. Gaya merupakan interaksi antara dua benda, atau antara benda dengan lingkungan. Gaya termasuk besaran vektor, artinya besaran ini memiliki nilai dan arah. Secara umum gaya dapat dikelompokkan menjadi tarikan (*pull*) dan dorongan (*push*). Berdasarkan interaksinya gaya dikelompokkan menjadi gaya kontak dan gaya non-kontak. Gaya kontak terjadi pada objek secara langsung, misalnya gaya otot, gasa gesek dangaya pegas. Gaya non-kontak tidak memerlukan interaksi langsung dengan objek, misalnya gaya magnet, gaya gravitasi bumi, dan gaya listrik.

Gaya merupakan besaran vektor sehingga berlaku operasional vektor seperti proyeksi pada sumbu-x dan sumbu-y, penjumlahan, pengurangan, perkalian vektor maupun perkalian skalar. Jika ada lebih dari satu gaya yang bekerja pada sebuah benda, maka berlaku superposisi gaya seperti pada persamaan 5.1. Gaya memiliki satuan Newton (N) dimana $1\text{N} \equiv 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots = \sum F \quad (5.1)$$

Hukum Newton 1

Jika resultan gaya ($\sum F$) yang bekerja pada suatu benda adalah 0 maka benda yang diam akan tetap diam atau benda yang bergerak dengan kecepatan konstan akan tetap bergerak dengan kecepatan konstan.

Tendensi sebuah benda untuk mempertahankan kondisinya disebut dengan prinsip inersia atau kelembaman. Hukum Newton I disebut juga hukum inersia.

Untuk memahami lebih lanjut tentang inersia dapat ditinjau ilustrasi berikut. Misalkan anda hendak bepergian dari kota A ke kota B menggunakan moda transportasi bus antarkota. Anda berada pada bus yang awalnya diam kemudian bergerak dengan percepatan \vec{a} . Saat mulai bergerak badan anda akan terasa terlempar ke belakang. Setibanya di kota B masinis mengurangi kecepatan dengan mengerem. Saat itu badan anda akan terasa terlempar ke depan. Kecenderungan badan terlempar ke belakang saat mulai berangkat merupakan bentuk dari mempertahankan kondisi badan yang awalnya diam. Kecenderungan badan terlempar ke depan saat pengereman merupakan bentuk dari mempertahankan kondisi badan yang sebelumnya bergerak sesuai dengan kecepatan bus.

Hukum Newton I

“Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda yang mula-mula diam akan terus diam. Sedangkan, benda yang mula-mula bergerak, akan terus bergerak dengan kecepatan konstan.”

Besaran lain yang berperan dalam Hukum Newton adalah massa. Massa merupakan salah satu besaran fisis yang dimiliki sebuah objek. Massa menentukan seberapa besar hambatan objek tersebut untuk mengalami perubahan kecepatan. Satuan internasional dari massa adalah kilogram. Eksperimen menunjukkan bahwa, semakin besar massa suatu benda, maka semakin kecil percepatan yang dialami benda tersebut akibat adanya gaya.

Massa dan berat adalah dua hal yang berbeda. Berat suatu benda sama dengan besarnya gaya gravitasi \vec{F}_g yang diberikan pada benda, besarnya akan bervariasi bergantung di mana lokasinya. Semua benda ditarik menuju inti bumi oleh gaya ini.

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

Karena gaya gravitasi bergantung pada percepatan gravitasi g , maka berat benda di lokasi yang berbeda akan berbeda pula. Percepatan gravitasi g berkurang seiring dengan bertambahnya jarak lokasi dari inti bumi. Berat benda akan berkurang pada ketinggian yang lebih tinggi dari atas permukaan laut.

Contoh soal 5.1

Anda mengendarai sepeda motor dengan kecepatan konstan 60km/jam mendahului teman anda yang berkendara dengan kecepatan konstan 25 km/jam. Kendaraan siapa yang memiliki resultan gaya lebih besar? (abaikan gaya gesek antara roda dengan jalan)

Pembahasan

Dari hukum Newton I diketahui bahwa ada dua makna dari persamaan $\sum F = 0$, yaitu benda dalam keadaan diam atau benda bergerak dengan kecepatan \vec{v} konstan. Sehingga berdasarkan uraian masalah di atas, jika kedua kendaraan memiliki kecepatan konstan, maka resultan gaya yang dimiliki kendaraan anda dan teman anda sama.

Hukum Newton II

Di dalam Hukum Newton II dibahas fenomena resultan gaya yang bekerja pada benda tidak sama dengan nol.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (5.2)$$

Dengan gaya yang sama, benda bermassa kecil akan melaju lebih cepat karena resultan gaya sebanding dengan massa benda $F \sim m$. Contohnya, diperlukan gaya yang lebih besar untuk mendorong bola *bowling* agar melaju dengan kecepatan sama dengan bola kasti.

Jika resultan gaya tidak sama dengan nol, maka benda akan mengalami percepatan. Arah dari vektor percepatan sama dengan arah dari vektor resultan gaya. Massa benda dikali percepatan sama dengan besarnya vektor resultan gaya. Persamaan 5.2 merupakan bentuk persamaan vektor yang memiliki tiga komponen seperti pada persamaan 5.3.

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y \quad \sum F_z = ma_z \quad (5.3)$$

Hukum Newton II

“Sebuah benda dengan massa m mengalami gaya resultan sebesar F akan mengalami percepatan (a) yang arahnya sama dengan arah gaya dengan besar yang berbanding lurus terhadap F dan berbanding terbalik terhadap massa (m).”

Untuk menyelesaikan masalah pada topik hukum Newton ini, dapat digunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi objek

Sebelum menyelesaikan masalah, kita harus menentukan objek mana yang akan diterapkan hukum Newton. Kemudian ditentukan resultan gaya $\sum \vec{F}$ yang hanya bekerja pada objek tersebut.

2. Menggambar diagram gaya bebas

Diagram gaya bebas (DGB) adalah ilustrasi grafis yang digunakan untuk memvisualisasi gaya pada benda atau sistem tertentu. Dengan menggambar DGB kesalahan dalam menghitung gaya-gaya yang bekerja pada benda dapat dihindari. Pada diagram ini digambarkan semua gaya dari luar sistem yang bekerja pada sistem. Gaya luar inilah yang nantinya akan menghasilkan percepatan pada benda/ sistem.

Diagram ini biasanya terdiri dari (1) sebuah sistem atau benda yang digambarkan dalam bentuk kotak atau titik dan (2) gaya yang ditampilkan dengan anak panah lurus menunjuk ke arah mana gaya tersebut bekerja.

3. Memisahkan komponen gaya

Pada setiap gaya yang bekerja pada benda, kita harus memisahkan komponen xyz seperti pada persamaan 5.3. Masing-masing komponen memberikan relasi antara gaya dan percepatan yang dihasilkan di sepanjang sumbu yang dimaksud. Jika kita hendak menyelesaikan kasus dimana benda bergerak di sepanjang sumbu-x, maka komponen selain F_x diabaikan. Begitu juga jika benda bergerak pada sumbu lain, maka komponen gaya yang tidak berhubungan dengan sumbu tersebut tidak berpengaruh, atau dapat diabaikan.

4. Memperhatikan satuan tiap besaran

Untuk mendapatkan hasil perhitungan yang valid, semua besaran yang terlibat pada penyelesaian persoalan Hukum Newton harus setara. Adapun besaran-besaran yang sering digunakan terdapat pada table 5.1.

Tabel 5.1 Satuan yang digunakan dalam Hukum Newton

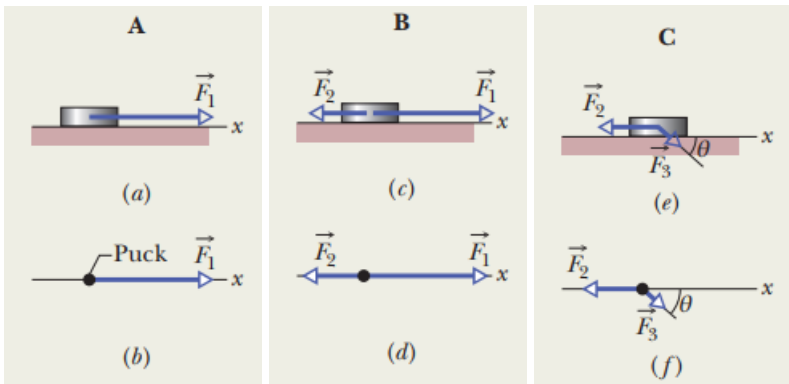
Sistem	Gaya	Massa	Percepatan
SI	Newton (N)	Kilogram (kg)	m/s ²
CGS ^a	dyne	Gram (g)	cm/s ²
British ^b	Pound (lb)	slug	ft/s ²

^a 1 dyne = 1 g.cm/s²

^b 1 lb = 1 slug.ft/s²

Contoh soal 5.2

Sebuah benda berada di atas permukaan licin (tidak ada gaya gesek yang bekerja), mengalami gerak satu dimensi di sepanjang sumbu-x dalam tiga kondisi; A, B, dan C. Massa benda tersebut 0,2 kg. Gaya $\vec{F}_1 = 4\text{N}$ dan $\vec{F}_2 = 2\text{N}$ sejajar dengan sumbu-x, sedangkan $\vec{F}_3 = 1\text{N}$ membentuk sudut $\theta = 30^\circ$ dengan sumbu-x. Untuk masing-masing kondisi, tentukan percepatan yang dialami oleh benda tersebut!



Gambar 5. 3 (a) Gaya horizontal menyebabkan percepatan horizontal (b) Diagram gaya bebas kondisi A (c) Dua gaya yang berlawanan arah. Gaya total menyebabkan percepatan horizontal (d) Diagram gaya bebas kondisi B (e) Komponen horizontal \vec{F}_3 berlawanan dengan \vec{F}_2 (f) Diagram gaya bebas kondisi C Sumber: (Halliday, David et al.,2018)

Pembahasan:

Persoalan tersebut dapat diselesaikan menggunakan relasi \vec{a} dengan $\sum \vec{F}$ pada persamaan matematis Hukum Newton II. Karena gerak benda hanya berada pada sumbu-x, maka hanya ditinjau komponen x saja yaitu $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. Pada diagram gaya bebas benda digambarkan dengan titik hitam.

- Untuk kondisi A

Berdasarkan gambar 5.3 (b) hanya ada satu gaya yang bekerja sehingga dapat digunakan persamaan $F_1 = ma_x$ sehingga percepatan benda dapat dihitung $a_x = \frac{F_1}{m} = \frac{4\text{N}}{0,2 \text{ kg}} = 20\text{m/s}^2$. Nilai positif mengindikasikan bahwa percepatan terjadi ke arah sumbu-x positif.

- Untuk kondisi B

Berdasarkan gambar 5.4 (d), ada dua gaya yang bekerja pada benda yaitu sejajar dengan sumbu-x, \vec{F}_1 dengan arah positif dan \vec{F}_2 dengan arah negatif. Dengan demikian persamaan yang dapat digunakan adalah $F_1 - F_2 = ma_x$ sehingga percepatan benda $a_x = \frac{F_1 - F_2}{m} = \frac{4\text{N} - 2\text{N}}{0,2 \text{ kg}} = 10\text{m/s}^2$. Nilai positif mengindikasikan bahwa percepatan terjadi ke arah sumbu-x positif.

- Untuk kondisi C

Berdasarkan gambar 5.4 (f) komponen gaya \vec{F}_3 yang sesuai dengan arah gerak benda adalah $F_{3,x}$ dengan demikian persamaan yang dapat digunakan adalah $F_{3,x} - F_2 = ma_x$, dengan $F_{3,x} = F_3 \cos \theta = F$, sehingga percepatan benda pada kondisi C $a_x = \frac{F_3 \cos \theta - F_2}{m} = \frac{1\text{N} - 2\text{N}}{0,2 \text{ kg}} = -5,7 \text{ m/s}^2$. Nilai negative mengindikasikan percepatan terjadi ke arah sumbu-x negatif.

Hukum Newton III

Jika ada dua benda berinteraksi, benda A memberikan gaya (\vec{F}_{AB}) ke benda B (aksi), maka benda B akan memberikan gaya (\vec{F}_{BA}) juga ke benda A (reaksi). Besarnya kedua gaya adalah sama, sedangkan arahnya berlawanan. Gaya aksi dan gaya reaksi berlaku pada benda yang berbeda. Dalam bentuk skalar dapat dituliskan $F_{AB} = F_{CB}$. Dalam bentuk

vektor dapat ditulis seperti persamaan 5.4. Tanda negative mengindikasikan bahwa dua gaya bekerja pada arah yang berlawanan.

$$(\vec{F}_{AB}) = -(\vec{F}_{BA}) \quad (5.4)$$

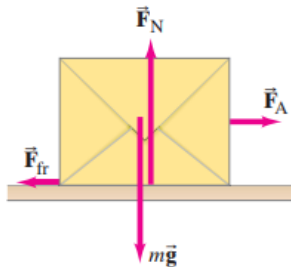
Contoh adanya gaya aksi-reaksi pada aktivitas sehari-hari adalah saat anda melakukan servis bola voli. Dalam kasus ini, tangan anda memberikan gaya aksi pada bola voli, sedangkan bola voli memberikan gaya reaksi pada tangan anda. Kedua gaya tersebut besarnya sama. Adanya gaya aksi-reaksi dibuktikan dengan kondisi tangan yang panas sesaat setelah melakukan servis bola.

Hukum Newton III

“Setiap ada gaya aksi yang bekerja pada suatu benda, maka akan timbul gaya reaksi yang besarnya sama, tetapi arahnya berlawanan.”

Aplikasi Hukum Newton

1. Hukum Newton Dengan Gaya Gesekan



Gambar 5.4 Sebuah benda yang berada di atas permukaan ditarik oleh gaya \vec{F}_A , gaya gesek \vec{F}_{fr} melawan gerak benda. Besarnya gaya gesek sebanding dengan besarnya gaya normal \vec{F}_N . ($\vec{F}_{fr} \perp \vec{F}_N$)

Sumber: Giancoli, 2018

Pada contoh-contoh kasus di atas adanya gesekan antara dua permukaan benda masih diabaikan. Pada kenyataannya, saat benda menggelinding sekalipun tetap terjadi gesekan. Gaya gesekan yang menyebabkan benda bergulir disebut gaya gesek kinetik. Gaya gesek (\vec{F}_{fr}) bekerja berlawanan dengan arah kecepatan benda. Besarnya gaya gesek kinetik ini bergantung pada sifat dari dua permukaan benda yang bergesekan. Gaya gesek sebanding dengan gaya normal (\vec{F}_N) antara dua permukaan, di mana arahnya tegak lurus dengan permukaan kontak (gambar 5.4). Relasi antara gaya

gesekan dengan gaya normal seperti pada persamaan 5.5 dengan μ_k merupakan koefisien gesekan kinetik yang tidak memiliki satuan. Nilai koefisien gesekan kinetik tergantung dari sifat dua permukaan. Pada tabel 5.2 terdapat nilai μ_k untuk beberapa permukaan bahan.

$$F_{fr} = \mu_k F_N \tag{5.4}$$

Selain gesekan kinetik, ada juga gesekan statik. Gaya ini sejajar dengan dua permukaan kontak dan dapat timbul meskipun benda yang dimaksud tidak bergulir. Misalnya sebuah meja diletakkan di atas lantai horizontal. Gaya yang menyebabkan benda tersebut tertahan dan tidak bergerak merupakan gaya gesekan statis. Gaya gesekan statis diberikan diberikan lantai terhadap meja. Jika ada gaya dorong yang lebih besar namun meja tetap tidak bergerak, maka gaya gesekan statik meningkat. Jika gaya dorong ditambah lagi sehingga membuat meja bergerak, maka yang bekerja adalah gaya gesek kinetik. Pada kondisi tersebut berarti gaya dorong lebih besar dari gaya gesek statis. Pada tabel 5.2 terdapat nilai koefisien gesekan statis μ_s untuk beberapa permukaan bahan.

Tabel 5.2 Nilai Koefisien Gesekan

Permukaan	Koefisien Gesekan Statik μ_s	Koefisien Gesekan Kinetik μ_k
Kayu dengan kayu	0,4	0,2
Es dengan es	0,1	0,03
Logam dengan logam (dengan pelumas)	0,15	0,07
Baja dengan baja (tanpa pelumas)	0,7	0,6
Karet dengan beton kering	1,0	0,8
Karet dengan beton basah	0,7	0,5
Karet dengan permukaan pada lainnya	1-4	1
Teflon dengan Teflon	0,04	0,04
Teflon dengan baja	0,04	0,04

Contoh Soal 5.3

Sebuah kotak bermassa 10 kg terletak di atas lantai horizontal. Koefisien gesekan pada sistim ini $\mu_s = 0,4$ dan $\mu_k = 0,3$. Tentukan gaya gesek F_{fr} yang bekerja pada kotak jika gaya luar yang bekerja pada kotak tersebut F_A (a) 0; (b) 10 N; (c) 20 N dan (d) 40 N

Pembahasan

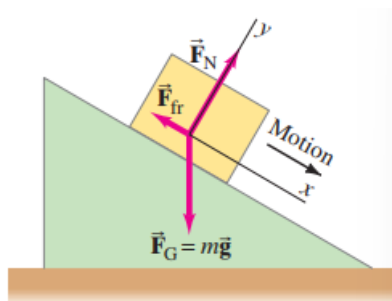
Dari uraian kasus tersebut belum dapat diketahui secara pasti apakah pada sistim tersebut melibatkan gaya gesekan statis atau gaya gesekan kinetis. Sebelum menyelesaikan persoalan ini, terlebih dahulu perlu digambar diagram gaya bebas, kemudian menentukan untuk masing-masing kasus apakah kotak tersebut diam atau bergerak. Perlu diingat bahwa kotak akan mulai bergerak jika gaya luar yang bekerja lebih besar dari gaya gesekan statis maksimum. Gaya - gaya yang terlibat dalam sistim ini adalah gaya normal, gaya horizontal F_A dan gaya gesek seperti pada diagram gaya bebas (gambar 5.4).

Dari gambar 5.4 dapat diketahui bahwa tidak ada gerak pada arah vertikal, sehingga Hukum Newton II pada arah vertikal yaitu $\sum F_y = m a_y = 0$ dimana $F_N - mg = 0$. Besar gaya normal adalah $F_N = mg = (10\text{kg})(9,8 \text{ m/s}^2) = 98 \text{ N}$

- Karena $F_A = 0$, maka kotak tidak berpindah dan $F_{fr} = 0$
- Gaya gesek statik akan berlawanan pada gaya luar yang diterapkan $F_s = \mu_s F_N = (0,4)(98\text{N}) = 39 \text{ N}$. Karena gaya luar yang diterapkan $F_A = 10 \text{ N}$, maka kotak tidak bergerak. Sehingga persamaan Hukum Newton menjadi $\sum F_x = F_A - F_{fr} = 0$, jadi $F_{fr} = 10 \text{ N}$
- Gaya luar $F_A = 20 \text{ N}$ juga tidak cukup untuk memindahkan kotak, sehingga kotak tetap dalam keadaan diam.
- Gaya luar $F_A = 40 \text{ N}$ mulai dapat memindahkan kotak karena lebih besar dari gaya gesek statis maksimum. Pada kasus ini maka yang ditinjau adalah gaya gesek mekanis sebesar $F_{fr} = \mu_k F_N = (0,3) (98) = 29 \text{ N}$. Sehingga resultan gaya dengan arah horizontal yang bekerja pada benda adalah $F = 40 \text{ N} - 29 \text{ N} = 11 \text{ N}$, percepatan yang dialami kotak $a_x = \frac{\sum F}{m} = \frac{11 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = 1,1 \text{ m/s}^2$

2. Hukum Newton Pada Bidang Miring

Jika persoalan Hukum Newton ada pada bidang miring seperti bukit atau tanjakan, maka gaya gravitasi turut terlibat. Untuk memudahkan memecahkan masalah, system koordinat xy dipilih. Sumbu x untuk arah di sepanjang bidang miring (arah gerak) dan sumbu y untuk arah yang tegak lurus dengan bidang miring seperti pada gambar 5.5.



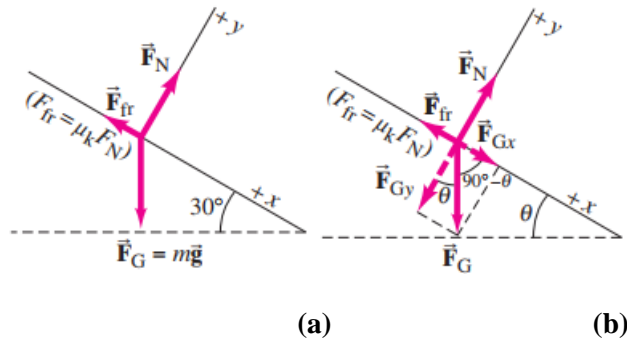
Gambar 5.5. Gaya yang bekerja pada benda di atas bidang miring
Sumber: Giancoli, 2018

Contoh soal 5.4

Seorang pemain ski menuruni lereng dengan kemiringan 30° . Jika koefisien gesekan kinetik 0,1 berapa percepatan yang dialami pemain ski?

Pembahasan

Sumbu- x dipilih untuk lintasan sepanjang, untuk arah turun bernilai positif, begitu juga sebaiknya. Sumbu- y tegak lurus terhadap permukaan lintasan. Gaya yang bekerja pada pemain ski adalah gravitasi yang mengarah ke bawah secara vertikal (tidak tegak lurus dengan lereng) (1) gaya yang diberikan pada papan ski oleh salju (2) gaya normal yang tegak lurus terhadap lereng bersalju dan (3) gaya gesekan yang sejajar dengan permukaan lintasan. Ketiga gaya tersebut diilustrasikan pada diagram gaya bebas gambar 5.6 (a).



Gambar 5.6 Diagram gaya bebas pemain ski yang menuruni lereng 30°
 Sumber: Giancoli, 2016

Untuk menyelesaikan kasus ini, tinjau satu komponen vektor. Adapun komponen-komponen diilustrasikan pada gambar 5.6 (b) dengan $F_{Gx} = mg \sin \theta$ dan $F_{Gy} = -mg \cos \theta$ dimana F_{Gy} pada arah sumbu-y negative. Karena pemain ski bergerak di sepanjang sumbu-x maka didapatkan relasi Hukum Newton II sebagai berikut

$$\sum F_x = ma_x$$

$$mg \sin \theta - \mu_k F_N = ma_x$$

$$mg \sin \theta - \mu_k mg \cos \theta = ma_x$$

$$g \sin \theta - \mu_k g \cos \theta = a_x$$

Kemudian masukan nilai-nilai yang tertera pada soal

$$\begin{aligned} a_x &= g \sin \theta - \mu_k g \cos \theta \\ &= 0,5g - (0,1)(0,866)g \\ &= 0,41 g \\ &= (0,41)(9,8 \text{ m/s}^2) \\ &= 4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Daftar Pustaka

Giancoli, D.C. (2016). *Physics Principles with Applications* (7th ed).
USA: Courier Kendallville

Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2018). *Fundamentals of Physics*
(11th ed.). Wiley: Libgen.lc.pdf. (n.d.).

Serway, R. A., Jewett, J.W. (2010). *Physics for Scientists and
Engineers with Modern Physics*. USA: Mary Finch

Profil Penulis



Gabriela Elsandika, M.Si

Penulis lahir di sebuah desa di Provinsi Jawa Timur. Gelar sarjana diperoleh pada tahun 2015 di Universitas Negeri Malang program studi Fisika. Menamatkan pendidikan magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2018 dengan program studi yang sama. Pernah bekerja sebagai guru *science* di SMP swasta di Malang tahun 2015-2016 dan Yogyakarta tahun 2018-2021. Saat ini penulis bekerja sebagai dosen Fisika di Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Fisika Material khususnya material alam. Adapun material alam yang pernah diteliti penulis yaitu silika dari mineral piropilit - Malang Selatan, Jawa Timur dan zircon dari pasir puya – Kereng Pangi, Kalimantan Tengah. Bila hendak berkomunikasi dengan penulis dapat memanfaatkan alamat surel berikut.

Email Penulis: g.elsandika@mipa.upr.ac.id

Santih Anggereni

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Pendahuluan

Dinamika gerak merupakan salah satu bagian dari mekanika, cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang gerak. Mekanika itu sendiri terdiri dari kinematika dan dinamika. Kinematika adalah bidang ilmu fisika yang mempelajari tentang gerak tanpa memperhatikan penyebab benda tersebut bergerak. Kajian dari kinematika itu sendiri seperti pergeseran, jarak, kecepatan, dan percepatan. Sedangkan dinamika gerak adalah bidang ilmu fisika yang mempelajari tentang gerak dengan memperhatikan penyebab-penyebab benda tersebut bergerak. Penyebab dari benda bergerak tersebut dapat dikarenakan adanya gaya yang diberikan pada benda, usaha pada benda/partikel, adanya momentum, dan sebagainya. Pada bab ini, kita akan membahas khusus terkait gaya berat, gaya gravitasi, gaya normal, vektor gaya, dan juga gaya gesek.

Gravitasi dan Gaya Berat

Gaya gravitasi merupakan salah satu jenis gaya yang dipengaruhi karena adanya gaya tarik sebuah benda menuju ke pusat benda tersebut. Kita tentu menyadari bahwa semua benda ditarik oleh bumi. Gaya tarik yang diberikan oleh bumi dinamakan sebagai gaya gravitasi yang disimbolkan sebagai F_g . Gaya ini selalu mengarah ke pusat bumi yang besarnya kita sebut sebagai berat benda. Jadi, gaya berat ini merupakan gaya tarik gravitasi bumi pada benda.

Berbicara tentang gaya berat itu sendiri, sebelumnya kita tentu harus paham dulu istilah massa dan berat. Kedua istilah ini dalam kehidupan sehari-hari kita sering salah dan tertukar penggunaannya. Massa merupakan ukuran banyaknya materi yang dikandung oleh suatu benda.

Jika dalam SI, satuan massa yang kemudian disimbolkan dengan m ini adalah kilogram (kg). Massa menunjukkan sifat inersia suatu benda. Semakin besar massa, maka semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk menimbulkan percepatan yang kita inginkan. Hal ini ditunjukkan oleh Hukum II Newton $\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Sedangkan berat merupakan sebuah gaya yang bekerja pada suatu benda akibat dari gaya gravitasi bumi yang bekerja pada benda tersebut. Kita ketahui bahwa suatu benda yang memiliki massa yang besar, tentu memiliki berat yang besar pula. Sebagai contoh perbandingan sebuah benda dengan massa 3 kg dengan benda dengan massa 5 kg. Benda dengan massa 5 kg lebih sulit dilemparkan dibanding dengan melempar benda dengan massa 3 kg. Begitupun ketika kita akan mengangkat benda tersebut, tentunya lebih sulit mengangkat benda yang 5 kg dibandingkan dengan yang 3 kg. Pertanyaannya kemudian, apakah yang dapat menghubungkan antara massa dan berat ?

Kita kembali mengingat kisah Sir Isaac Newton (1643 – 1727), salah seorang fisikawan dan matematikawan yang ilmunya sangat berpengaruh sepanjang sejarah yang kemudian kita kenal sebagai bapak ilmu fisika klasik. Saat itu, Isaac Newton duduk di bawah pohon apel dan memperhatikan apel yang jatuh. Benda yang jatuh bebas memiliki sebuah percepatan g dan karena Hukum II Newton, sebuah gaya harus bekerja untuk menghasilkan percepatan. Misalkan sebuah benda dengan massa 5 kg akan dijatuhkan dengan percepatan $9,8 \text{ m/s}^2$, maka besarnya gaya yang dibutuhkan adalah

$$F = ma = (5 \text{ kg}) (9,80 \text{ m/s}^2) = 49 \text{ kg.m/s}^2 = 49 \text{ N}$$

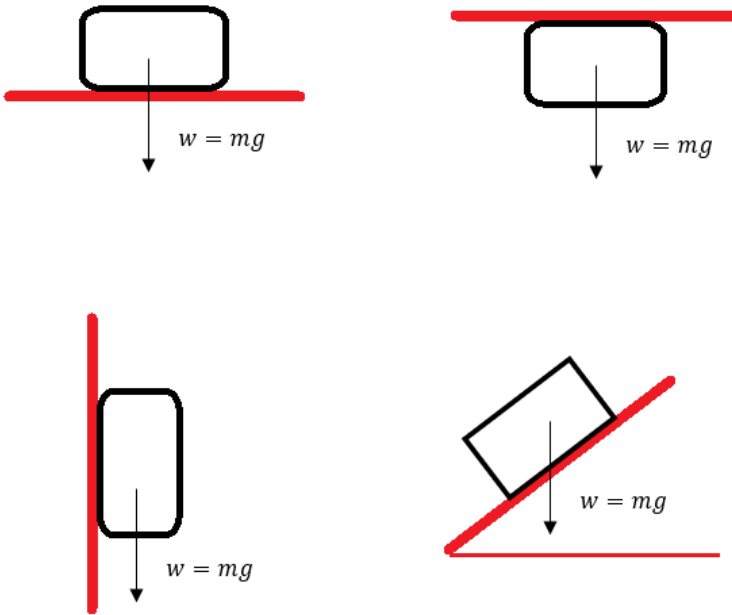
Gaya yang menyebabkan benda tersebut mendapatkan percepatan ke bawah adalah karena adanya tarikan dari bumi, yaitu berat benda. Secara matematis, persamaan suatu benda dengan massa m akan memiliki berat yang besarnya w dapat dituliskan sebagai berikut:

$$w = mg$$

Karena berat suatu benda adalah gaya yang merupakan besaran vektor dan selalu tegak lurus dengan permukaan bumi sehingga kita dapat menuliskan sebagai persamaan vektor yaitu :

$$\vec{w} = m\vec{g} \quad (6.1)$$

Satuan dari gaya berat adalah Newton



Gambar 6.1 Arah vektor gaya berat

Kita akan menggunakan $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ untuk soal-soal yang sistemnya berada dipermukaan bumi. Pada kenyataannya, nilai g sedikit berubah dari suatu titik ke titik lain di bumi, dari kira-kira $9,78$ sampai $9,82 \text{ m/s}^2$, karena bumi tidak benar-benar bulat dan karena pengaruh perputaran bumi pada sumbunya dan pada orbitnya. Pada titik dimana $g = 9,80 \text{ m/s}^2$, berat setiap 1 kg , standar w adalah $9,80 \text{ N}$. Berat benda berubah-ubah dari satu lokasi ke lokasi lain, sedangkan massa tidak berubah. Jika kita membawa satu kilogram ke permukaan bulan, dimana percepatan jatuh bebas (sama dengan nilai g bulan) adalah $1,62 \text{ m/s}^2$, berat satu kilogram standar adalah $1,62 \text{ N}$, tetapi massanya tetap 1 kg . Seorang astronot yang bermassa 75 kg akan memiliki berat di bumi (75 kg) ($9,8 \text{ m/s}^2$) = 735 N , tetapi berat astronot di bulan adalah (75 kg) ($1,62 \text{ m/s}^2$) = $121,5 \text{ N}$.

Contoh soal 6.1

Tentukan berat suatu benda yang berada di Bumi yang massanya sebagai berikut (gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$) :

- 7 kg
- 900 gram

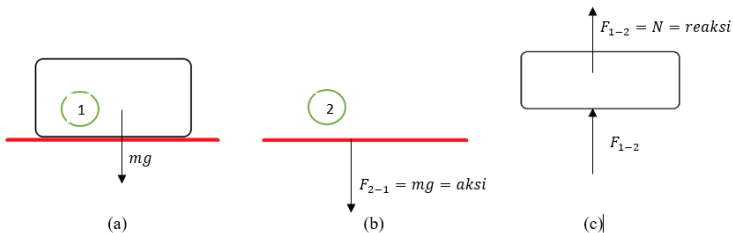
Penyelesaian:

Hubungan antara massa m dengan berat w adalah $w = mg$. Dalam SI, m dalam kg dan g dalam m/s^2

- $w = (7 \text{ kg}) (9,8 \text{ m/s}^2) = 68,6 \text{ kg.m/s}^2 = 68,9 \text{ N}$
- $w = (0,9 \text{ kg}) (9,8 \text{ m/s}^2) = 8,82 \text{ kg.m/s}^2 = 8,82 \text{ N}$

Gaya Normal

Gaya normal merupakan gaya reaksi dari gaya berat yang dikerjakan benda terhadap bidang tempat benda berada (benda melakukan aksi, bidang memberikan reaksi). Arah gaya normal yang disimbolkan dengan N selalu tegak lurus pada bidang.



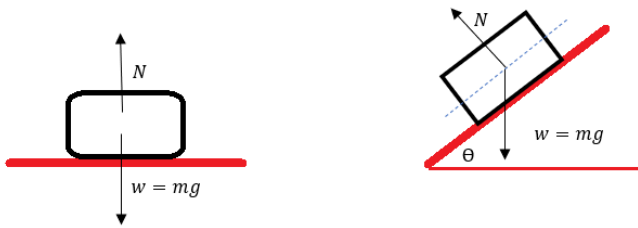
Gambar 6.2 Gaya aksi pada bidang, gaya reaksi

- Benda (1) berada di atas benda (2)
- Gaya aksi pada bidang
- Gaya reaksi pada benda

$N > 0$, artinya benda menekan bidang tempat benda berada

$N = 0$, artinya benda meninggalkan bidang lintasannya

$N < 0$, tidak mungkin

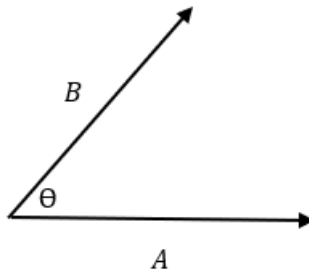


Gambar 6.3 Gaya normal pada bidang datar dan bidang miring

Vektor Gaya

Gaya termasuk besaran vektor. Oleh karena itu, sebuah gaya akan ditentukan oleh besar dan arahnya. Arah gaya ditentukan oleh suatu tanda panah. Arah gaya dapat digambarkan dalam sebuah koordinat kartesius dengan memperhatikan arah gaya pada sumbu X (arah positif atau negatif) dan sumbu Y (arah positif atau negatif).

Dua buah vektor gaya A dan B yang bekerja pada suatu titik tangkap dan membentuk sudut apit θ seperti pada gambar 6.4 berikut

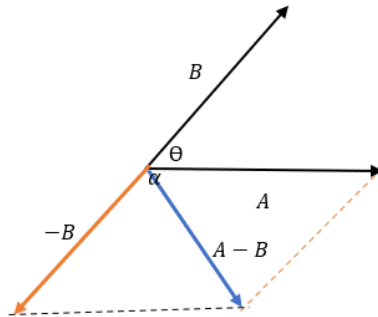


Gambar 6.4 Contoh vektor gaya A dan B

Besarnya resultan atau jumlah gaya yang bekerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = |A + B| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta} \quad (6.2)$$

Bentuk pengurangan vektor gaya A dan B dapat dilihat pada gambar 6.5



Gambar 6.5 Pengurangan vektor gaya A dan B

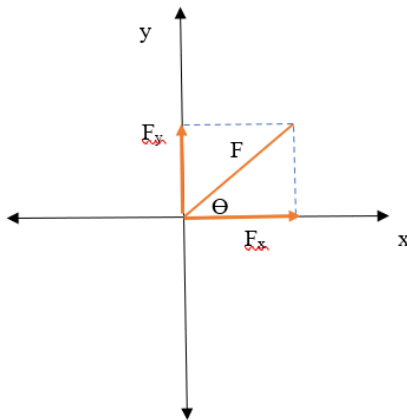
Besarnya $A - B$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$|A - B| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha} \quad (6.3)$$

dimana $\alpha = 180^\circ - \theta$ dan $\cos (180^\circ - \theta) = -\cos \theta$, sehingga persamaan (6.3) dapat diubah menjadi

$$|A - B| = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos \theta} \quad (6.4)$$

Seperti yang telah dijelaskan di atas, bahwa suatu vektor gaya dapat diuraikan dalam sebuah bidang cartesian dalam komponen F_x yang berada di sumbu x dan F_y sepanjang sumbu y dapat ditunjukkan seperti pada gambar 6.6.



Gambar 6.6 Uraian vektor gaya F_x dan F_y

dimana :

$$F_x = F \cos \theta \quad (6.5)$$

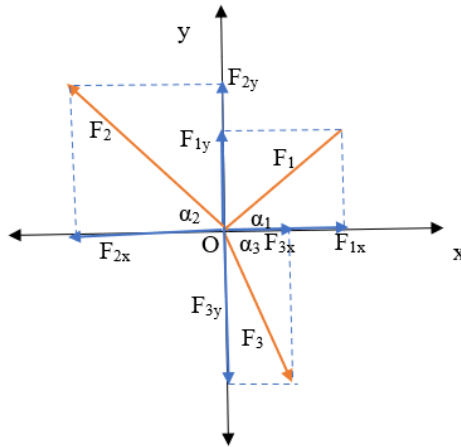
$$F_y = F \sin \theta \quad (6.6)$$

Begitu juga jika sebelumnya telah kita ketahui dua komponen gaya F_x dan F_y yang saling tegak lurus, maka kita dapat menghitung resultan kedua gaya dan arah resultan gaya tersebut dengan menggunakan persamaan (6.7) dan (6.8) di bawah

$$\tan \theta = \frac{F_y}{F_x} \quad (6.7)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (6.8)$$

Kita misalkan ada tiga buah gaya yaitu gaya F_1 , F_2 , dan F_3 bekerja pada suatu bidang cartesian dengan titik pusat O seperti pada gambar 6.7 berikut



Gambar 6.7 Resultan beberapa vektor gaya F_1 , F_2 , dan F_3

Jika kita ingin mencari resultan dari ketiga gaya F_1 , F_2 , dan F_3 , maka hal yang pertama kita lakukan adalah dengan menguraikan masing-masing vektor gaya terhadap sumbu x dan sumbu y seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada gambar 6.6. Dari hasil uraian vektor gaya F_1 , F_2 , dan F_3 maka kita akan memperoleh komponen-komponen gaya sebagai berikut:

pada gaya F_1 diperoleh

$$F_{1x} = F_1 \cos \alpha_1$$

$$F_{1y} = F_1 \sin \alpha_1$$

pada gaya F_2 diperoleh

$$F_{2x} = F_2 \cos \alpha_2$$

$$F_{2y} = F_2 \sin \alpha_2$$

dan pada gaya F_3 diperoleh

$$F_{3x} = F_3 \cos \alpha_3$$

$$F_{3y} = F_3 \sin \alpha_3$$

Dari komponen-komponen vektor gaya di atas, kita dapat menjumlahkan secara aljabar terhadap sumbu x dan sumbu y yaitu $\sum F_x$ dan $\sum F_y$, sehingga dapat kita peroleh sebagai berikut

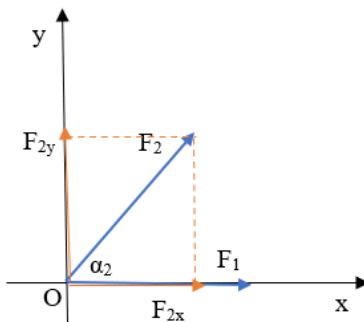
$$\sum F_x = F_{1x} - F_{2x} + F_{3x}$$

$$\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} - F_{3y}$$

Selanjutnya jika kita menghitung resultan ketiga gaya F_1 , F_2 , dan F_3 di atas, maka akan digunakan persamaan

$$R = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} \quad (6.9)$$

Contoh soal 6.2



Tentukan besar vektor resultan pada gaya yang bekerja jika diketahui F_1 sebesar 7 N dan F_2 sebesar 11 N. Sudut apit α_2 sebesar 45° !

Penyelesaian:

Gaya	Besar sudut (α)	Komponen sumbu x	Komponen sumbu y
$F_1 = 7 \text{ N}$	$\alpha_1 = 0^\circ$	$F_{1x} = 7 \text{ N}$	$F_{1y} = 0$
$F_2 = 11 \text{ N}$	$\alpha_2 = 45^\circ$	$F_{2x} = 7,8 \text{ N}$	$F_{2y} = 7,8 \text{ N}$
		$\sum F_x = 14,8 \text{ N}$	$\sum F_y = 7,8 \text{ N}$

dari tabel di atas, maka diperoleh resultan gaya sebesar

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(14,8)^2 + (7,8)^2} = \sqrt{219,04 + 60,84} = 16,73 \text{ N}$$

Gaya Gesek

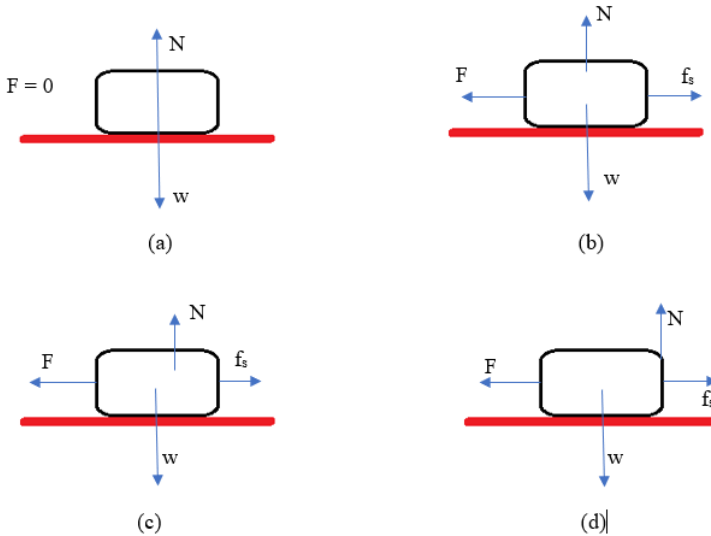
Kita tinjau sebuah balok yang berada di lantai diluncurkan dengan kecepatan awal v_0 dalam suatu bidang datar dimana suatu saat balok tersebut berhenti. Maka, dapat dijelaskan bahwa “berhentinya balok tersebut disebabkan karena pada saat balok bergerak, balok memperoleh suatu gaya yang menentang arah gerakannya”. Gaya inilah yang kemudian kita sebut sebagai *gaya gesek*.

Misalkan sebuah peti yang berada pada suatu bidang datar yang kasar didorong (diberi gaya F) oleh seorang anak, tetapi ternyata balok tersebut tidak bergerak. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya gaya dorong tersebut belum mampu melawan gaya gesekan antara peti dengan bidang datar. Tetapi jika peti tersebut didorong oleh sejumlah orang (diberi gaya cukup besar) dan ternyata balok bergerak, hal ini menunjukkan bahwa gaya yang diberikan cukup besar untuk melawan gaya gesekan tersebut. Namun demikian, selama pergerakan peti tetap memperoleh gaya gesekan.

Dari penjelasan ini dapat dikemukakan bahwa gaya gesek yang timbul tanpa adanya pergerakan disebut *gaya gesek statis*, dan sebaliknya jika menimbulkan pergeseran disebut *gaya gesek kinetis*.

Gaya Gesek Statis

Misalkan sebuah balok yang berada pada suatu bidang datar diberi gaya yang sedikit demi sedikit diperbesar seperti gambar 6.8



Gambar 6.8 Gerak balok pada sebuah bidang datar kasar

Keterangan gambar:

- (a) Gaya gesek pada balok belum ada karena $F = 0$
- (b) Gaya F yang diberikan belum cukup untuk mengatasi gaya gesekan antar permukaan
- (c) Gaya gesek ternyata membesar seiring dengan membesarnya gaya F yang diberikan
- (d) Gaya gesek telah mencapai titik hendak bergerak untuk F yang semakin diperbesar

Dalam kondisi ini, gaya gesek statis telah mencapai titik maksimum. Sehingga perbandingan antara gaya gesek statis dengan gaya normal disebut koefisien gesek statis yang dirumuskan

$$f_s \leq \mu_s N \quad (6.10)$$

dimana f_s adalah gaya gesekan statis, μ_s adalah koefisien gesekan statis dan N adalah gaya normal.

Untuk $f_s < \mu_s N$ maka benda dalam keadaan diam, dan jika $f_s = \mu_s N$ maka benda akan bergerak.

Gaya Gesek Kinetis

Mari kita tinjau gambar 6.8(d). Jika gaya diperbesar, maka balok akan bergerak. Selama bergerak, balok tetap memperoleh gaya gesekan yang berlawanan arah dengan gerakan balok. Gaya gesekan ini disebut *gaya gesek kinetis* yang besarnya dirumuskan oleh persamaan

$$f_k \leq \mu_k N \quad (6.10)$$

dimana f_k adalah gaya gesekan kinetis dan μ_k adalah koefisien gesekan kinetis. Jika:

$$f_k > f_s \quad \text{benda diam}$$

$$f_k = f_s \quad \text{benda saat bergerak}$$

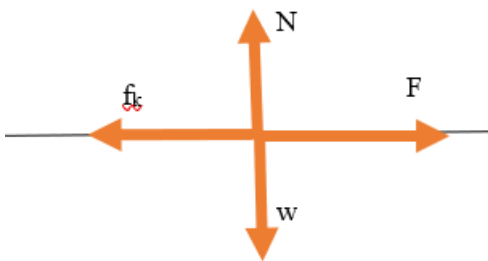
$$f_k < f_s \quad \text{benda bergerak}$$

Contoh soal 6.3

Fatih mendorong sebuah balok yang mempunyai massa 50 kg di atas lantai kasar. Fatih memberikan gaya horizontal pada balok tersebut sebesar 100 N. Akibatnya, balok yang semula diam bergerak. Tentukan percepatan balok tersebut jika koefisien gesek kinetis $\mu_k = 0,1$.

Penyelesaian:

Karena lantai kasar, maka selain gaya F yang bekerja pada benda juga ada gaya gesek. Kita dapat menggambarkan diagram benda bebas untuk kasus ini.



Karena tidak ada gerak pada arah vertikal, maka kita gunakan Hukum II Newton yang memberikan persamaan:

$$F - f_k = ma$$

$$N = W$$

Sedangkan besar gaya gesek kinetis sebanding dengan gaya normal, yaitu :

$$f_k = \mu_k N$$

dengan demikian diperoleh

$$a = \frac{F - \mu_k N}{m} = \frac{100 \text{ N} - (0,1)(50 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)}{50 \text{ kg}} = \frac{100 - 49}{50} \\ = 1,02 \text{ m/s}^2$$

Jadi besarnya percepatan benda adalah $1,02 \text{ m/s}^2$

Daftar Pustaka

- Artawan, P. (2014). *Fisika Dasar*.
- Giancoli, D. C. (2001). Fisika Jilid I (terjemahan). *Jakarta: Penerbit Erlangga*.
- Sarojo, G. A. (2002). Seri Fisika Dasar Mekanika. *Jakarta: Salemba Teknika*.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). Fisika untuk sains dan teknik edisi 6 buku 1. *Alih Bahasa Oleh Criswan Sungkono. Jakarta: Salemba Empat*.
- Zemansky, S. (2002). *Fisika Universitas Jilid I Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.

Profil Penulis

Santih Anggereni, S.Si., M.Pd.



Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis dilahirkan di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas di Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin dan lulus tahun 2007. Penulis kemudian melanjutkan Program Pascasarjana di Pendidikan Fisika Universitas Negeri Makassar dan memperoleh gelar Magister Pendidikan (M.Pd.) di tahun 2013. Saat ini penulis aktif sebagai dosen di Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. Selain sebagai dosen, saat ini penulis juga aktif sebagai pengurus pusat Perkumpulan Prodi Pendidikan Fisika Indonesia (PPFII) di bidang kurikulum. Penulis terlibat aktif dalam penulisan karya ilmiah di bidang Pendidikan fisika dan juga telah merampungkan beberapa judul buku yang berkaitan dengan bidang Fisika dan Pendidikan. Penulis selalu berupaya untuk menghasilkan karya-karya terbaik dalam menulis buku agar dapat berkontribusi dalam dunia pendidikan di Indonesia.

Email Penulis: s.renireni11@gmail.com

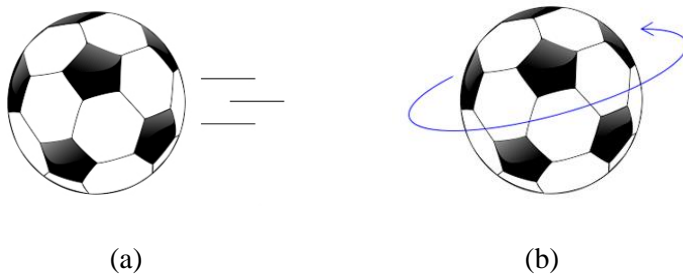
KINEMATIKA ROTASI

Neny Kurniawati

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam, Universitas Palangka Raya

Gerak Rotasi

Salah satu fokus di dalam fisika adalah pembahasan tentang gerak. Gerak di dalam fisika terdiri dari gerak **translasi** dan gerak **rotasi**. Gerak translasi terjadi ketika suatu benda bergerak di sepanjang garis lurus atau melengkung, sementara gerak rotasi terjadi ketika sebuah benda berputar pada sebuah sumbu (Gambar 7.1). Gerak rotasi banyak dijumpai dalam kehidupan kita, misalnya ketika kita menaiki wahana berputar di taman bermain, atau ketika kita membuka tutup minuman kemasan.



Gambar 7.1 Gerakan sebuah bola (a) translasi pada lintasan lurus (b) rotasi pada sumbunya

Sumber: <https://www.sciencefacts.net/translational-motion.html>

Sebuah benda n dapat dikatakan bergerak dalam garis lurus jika gaya total yang berkerja berada pada arah geraknya, atau gaya totalnya adalah nol. Jika gaya total bekerja pada sudut dan arah tertentu, maka benda tersebut berada pada lintasan melingkar, contoh gerak sebuah

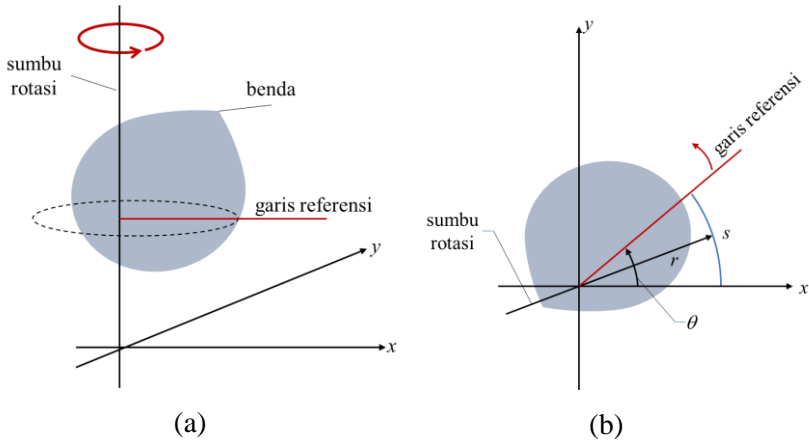
proyektil. Kasus lainnya sebuah benda bergerak dalam lintasan melingkar, seperti bola di ujung tali berputar di sekitar kepala seseorang, atau gerakan hampir melingkar dari Bulan terhadap Bumi.

Dalam Bab ini, kita mempelajari gerak melingkar benda, dan bagaimana hukum gerak Newton berlaku. Juga akan dibahas bagaimana Newton memahami hukum besar lainnya dengan menerapkan konsep gerak melingkar pada gerak Bulan dan planet-planet. Gerak rotasi adalah hukum gravitasi universal, yang merupakan puncak dari analisis Newton tentang dunia fisika.

Variabel Kinematika Rotasi

Pembahasan kinematika rotasi pada bab ini akan berfokus pada rotasi benda tegar terhadap sumbu tetap. **Benda tegar** adalah benda yang dapat berputar dengan semua bagiannya terkunci bersama, tanpa mengalami perubahan bentuk. Sumbu tetap menunjukkan bahwa rotasi terjadi pada sumbu yang tidak bergerak. Sehingga, pengamatan ini tidak akan mencakup objek seperti matahari, karena bagian-bagian matahari (bola gas) tidak terkunci satu sama lain. Atau seperti bola bowling yang menggelinding sepanjang lintasan, karena sumbunya ikut bergerak.

Gambar 7.2 (a) menunjukkan benda tegar berbentuk sembarang yang berputar pada sumbu tetap, yang disebut sebagai **sumbu rotasi**. Dalam rotasi murni (gerak sudut), setiap titik bergerak dalam lingkaran yang pusatnya terletak pada sumbu rotasi, dan setiap titik bergerak melalui sudut yang sama selama selang waktu tertentu. Posisi garis referensi benda dapat berubah-ubah, namun tegak lurus terhadap sumbu rotasi, digunakan untuk mengukur rotasi benda relatif terhadap arah tetap. Variabel yang bekerja di sini adalah persamaan sudut dari besaran linear posisi, perpindahan, kecepatan, dan percepatan, atau biasa disebut sebagai **posisi sudut**, **perpindahan sudut**, **kecepatan sudut**, dan **percepatan sudut**.



Gambar 7.2 Benda tegar dengan bentuk sembarang (a) dalam rotasi murni terhadap sumbu z pada sistem koordinat (b) diputar berlawanan jarum jam pada arah sumbu positif.

1. Posisi Sudut

Gambar 7.2 (a) menunjukkan garis referensi tetap di dalam benda, tegak lurus terhadap sumbu rotasi dan berotasi dengan benda. Posisi sudut garis adalah sudut garis relatif terhadap arah yang tetap, yang kita anggap sebagai posisi sudut nol. Pada Gambar 7.2 (b), posisi sudut θ diukur relatif terhadap arah sumbu x positif. Dari geometri, dapat diketahui bahwa θ adalah,

$$\theta = \frac{s}{r}$$

dimana s adalah panjang busur lingkaran yang memanjang dari sumbu x (posisi sudut nol) ke garis acuan, dan r adalah jari-jari lingkaran.

Sudut (θ) diukur dalam radian (rad). Radian adalah rasio dari dua panjang, yang merupakan bilangan murni dan karenanya tidak memiliki dimensi. Karena keliling lingkaran dengan jari-jari r adalah $2\pi r$, terdapat 2π radian dalam satu lingkaran penuh, sehingga

$$1 \text{ putaran} = 360^\circ = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ rad}$$

atau dapat dituliskan juga

$$1 \text{ rad} = 57,3^\circ = 0,159 \text{ putaran}$$

Jika garis referensi telah menyelesaikan dua putaran dari posisi sudut nol, maka posisi sudut tersebut adalah $\theta = 4\pi$ rad. Untuk translasi murni sepanjang sumbu x , maka posisi dapat dituliskan sebagai fungsi waktu $x(t)$, hal yang sama berlaku pada posisi sudut dapat dituliskan sebagai $\theta(t)$, yaitu posisi sudut garis referensi benda sebagai fungsi waktu.

2. Perpindahan Sudut

Jika benda pada Gambar 10.2 (b) berputar terhadap sumbu rotasi dengan arah tertentu, posisi sudut garis acuan akan berubah dari θ_1 ke θ_2 , benda mengalami perpindahan sudut sebesar $\Delta\theta$ yang diberikan oleh fungsi waktu.

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

Persamaan 7.4 merupakan definisi **perpindahan sudut**, ini berlaku tidak hanya untuk benda tegar secara keseluruhan, tetapi juga untuk setiap partikel di dalam benda itu.

Perpindahan sudut $\Delta\theta$ dari benda yang berotasi dapat berarah positif atau negatif, menurut aturan berikut, *perpindahan sudut berlawanan arah jarum jam adalah positif, dan perpindahan searah jarum jam adalah negatif*.

3. Kecepatan Sudut

Misalkan benda putar berada pada posisi sudut θ_1 pada waktu t_1 dan pada posisi sudut θ_2 pada waktu t_2 . Maka kecepatan sudut rata-rata ($\bar{\omega}$) benda dalam selang waktu t dari t_1 ke t_2 menjadi

$$\bar{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Kecepatan sudut sesaat (ω) didefinisikan sebagai batas rasio dalam Persamaan 7.5 saat t mendekati nol, sehingga

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

Satuan kecepatan sudut (ω) dinyatakan dalam rad/s atau putaran/s. Persamaan 7.5 dan 7.6 berlaku tidak hanya untuk benda tegar yang berputar secara keseluruhan tetapi juga untuk setiap partikel dari benda itu karena semua partikel terkunci bersama.

4. Percepatan Sudut

Jika kecepatan sudut benda yang berputar tidak konstan, maka benda tersebut memiliki percepatan sudut. Misalkan ω_2 dan ω_1 masing-masing adalah kecepatan sudutnya pada waktu t_2 dan t_1 . Percepatan sudut rata-rata ($\bar{\alpha}$) benda yang berputar dalam interval dari t_1 ke t_2 didefinisikan sebagai

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

dimana $\Delta\omega$ adalah perubahan kecepatan sudut yang muncul pada selang waktu Δt . Percepatan sudut sesaat (α) dinyatakan sebagai rasio persamaan 7.7 mendekati nol, yaitu

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

Persamaan 7.7 dan 7.8 juga berlaku untuk setiap partikel pada benda itu. Satuan percepatan sudut adalah radian per sekon kuadrat (rad/s^2) atau putaran per sekon kuadrat (putaran/s^2).

Contoh 7.1

Posisi sudut suatu titik pada roda yang berputar diberikan oleh $\theta = 2t^3 + 4t^2 + 2$, di mana θ dalam radian dan t dalam detik. Pada $t = 0$, berapakah

- Posisi sudut titik?
- Kecepatan sudutnya?
- Berapakah kecepatan sudutnya pada $t = 4,0$ s?
- Hitung percepatan sudutnya pada $t = 2,0$ s.
- Apakah percepatan sudutnya konstan?

Solusi

a) $t = 0$, sehingga

$$\theta = 2(0)^3 + 4(0)^2 + 2 = 2 \text{ rad}$$

b) Berdasarkan persamaan 7.6

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dt}(2t^3 + 4t^2 + 2) = (8t + 6t^2) \text{ rad/s}$$

c) Untuk $t = 4 \text{ s}$

$$\omega_4 = 8(4) + 6(4)^2 = 128 \text{ rad/s}$$

d) Berdasarkan persamaan 7.8

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt}(8t + 6t^2) = (8 + 12t) \text{ rad/s}^2$$

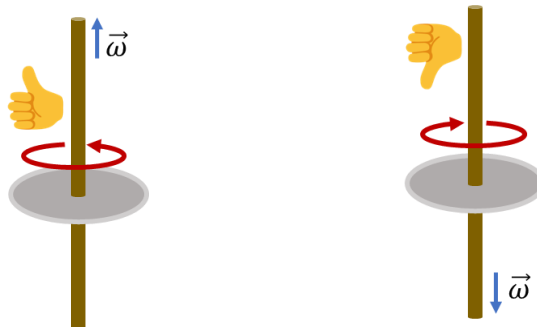
$$t = 2 \text{ s}$$

$$\alpha_2 = (8 + 12(2)) = 32 \text{ rad/s}^2$$

e) Percepatan sudut yang diberikan oleh fungsi yang diperoleh bergantung pada waktu, sehingga **tidak konstan**.

Rotasi Percepatan Sudut Tetap

Ketika mempelajari gerak translasi, setelah memperkenalkan variabel kinematik, maka dipertimbangkan kasus khusus partikel di bawah percepatan konstan. Dengan prosedur yang sama kita dapat mempelajari kasus benda tegar di bawah percepatan sudut konstan.



Gambar 7.3 Kaidah tangan kanan untuk menentukan arah gerak vektor

Bayangkan sebuah benda tegar seperti CD pada Gambar 7.3 berputar pada sumbu tetap dan memiliki percepatan sudut konstan. Hubungan kinematik untuk benda ini dapat diturunkan dari persamaan 7.8 dalam bentuk $d\omega = \alpha dt$ dan mengintegrasikan dari $t_i = 0$ sampai $t_f = t$, dan menghasilkan

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\int_{\omega_i}^{\omega_f} d\omega = \int_0^t \alpha dt$$

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t \quad (\text{untuk } \alpha \text{ konstan})$$

di mana ω_i adalah kecepatan sudut benda tegar pada waktu $t = 0$, dan ω_f adalah kecepatan sudut benda pada waktu t berikutnya. Dengan mensubstitusi Persamaan 7.9 ke persamaan 7.6 dan diintegrasikan sekali lagi, akan didapati

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\int_{\theta_i}^{\theta_f} d\theta = \int_0^t (\omega_i + \alpha t) dt$$

$$\theta_f = \theta_i + \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (\text{untuk } \alpha \text{ konstan})$$

di mana θ_i adalah posisi sudut benda tegar pada waktu $t = 0$, dan θ_f adalah posisi sudut benda pada waktu t berikutnya. Dengan mengeliminasi t pada Persamaan 7.9 dan 7.10, maka akan diperoleh

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha(\theta_f - \theta_i) \quad (\text{untuk } \alpha \text{ konstan})$$

Dengan mengeliminasi α dari Persamaan 7.9 dan 7.10, diperoleh

$$\theta_f = \theta_i + \frac{1}{2}(\omega_i + \omega_f)t \quad (\text{untuk } \alpha \text{ konstan})$$

Contoh 7.2

Sebuah kincir angin memiliki kecepatan sudut $4,7 \text{ rad/s}$ pada $t = 0$, percepatan sudut konstan $-0,25 \text{ rad/s}^2$, dan garis referensi pada $\theta_i = 0$.

- Melalui berapa θ_{max} sudut maksimum garis acuan akan berbelok ke arah positif?
- Berapa kali garis referensi pertama akan berada pada $\theta = \frac{1}{2}\theta_{max}$?
- Pada waktu negatif berapakah garis acuan berada pada $-10,5 \text{ rad}$?

Solusi

- a) θ_{max} akan diperoleh pada kondisi $\omega_f = 0$, menggunakan Persamaan 7.11

$$\theta_{max} = -\frac{\omega_i^2}{2\alpha} = -\frac{4,7^2}{2(-0,25)} = 44 \text{ rad}$$

- b) Kita mendapatkan nilai untuk t_1 ketika perpindahan sudut $\theta_1 = 22 \text{ rad}$. Menggunakan Persamaan. 7.10 dan rumus akar-akar kuadrat, maka

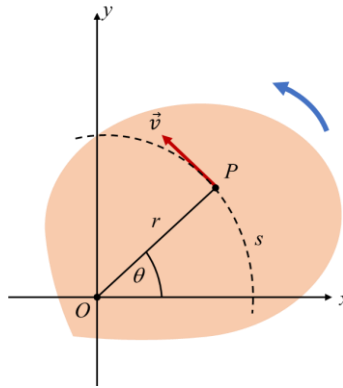
$$\theta_f = \theta_i + \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \Rightarrow t_1 = \frac{-\omega_i \pm \sqrt{\omega_i^2 + 2\theta_1\alpha}}{\alpha} = 5,5 \text{ s}$$

- c) $\theta_2 = -10,5 \text{ rad}$, menggunakan penurunan persamaan pada bagian b) didapat

$$t_2 = \frac{-\omega_i \pm \sqrt{\omega_i^2 + 2\theta_2\alpha}}{\alpha} = -2,1 \text{ s}$$

Besaran Rotasi (Hubungan Variabel Linear dan Sudut)

Hubungan antara kecepatan sudut dan percepatan benda tegar yang berputar dengan kecepatan translasi dan percepatan suatu titik pada benda didapatkan dengan mengamati Gambar 7.4. Ketika sebuah benda bertindak sebagai benda tegar, maka benda tersebut berputar pada sumbu tetap, dan setiap partikel benda ikut bergerak dalam lingkaran yang pusatnya berada pada sumbu rotasi.



Gambar 7.4 Benda tegar berputar pada sumbu tetap melalui O , titik P memiliki kecepatan tangensial \vec{v} yang selalu bersinggungan dengan lintasan melingkar berjari-jari r .

Titik P pada Gambar 7.4 bergerak dalam lingkaran, mengakibatkan vektor kecepatan translasi \vec{v} selalu bersinggungan dengan lintasan melingkar dan karenanya disebut **kecepatan tangensial**. Besarnya kecepatan tangensial titik P didefinisikan sebagai kecepatan tangensial $v = \frac{ds}{dt}$, dimana s adalah jarak yang ditempuh oleh titik ini diukur sepanjang jalur melingkar. Mengingat bahwa $s = r\theta$ (Persamaan 7.1) dan bahwa r konstan, maka

$$v = \frac{dc}{dt} = r \frac{d\theta}{dt}$$

Karena $\frac{d\theta}{dt} = \omega$ (Persamaan 7.6), maka

$$v = r\omega$$

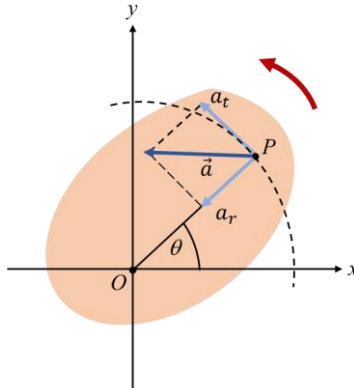
Kecepatan tangensial suatu titik pada benda tegar yang berputar sama dengan jarak tegak lurus titik tersebut dari sumbu rotasi dikalikan

dengan kecepatan sudut. Oleh karena itu, walaupun setiap titik pada benda tegar memiliki kecepatan sudut yang sama, tidak setiap titik memiliki kecepatan tangensial yang sama karena r tidak sama untuk semua titik pada benda. Persamaan 7.12 menunjukkan bahwa kecepatan tangensial suatu titik pada objek yang berotasi meningkat saat benda tersebut bergerak keluar dari pusat rotasi.

Hubungan percepatan sudut benda tegar yang berotasi dengan percepatan tangensial titik P dapat diketahui dengan menurunkan v terhadap waktu, yaitu

$$a_t = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt}$$

$$a_t = r\alpha$$



Gambar 7.5 Benda tegar berotasi terhadap sumbu tetap melalui O , titik P mengalami komponen tangensial percepatan translasi a_t dan komponen radial percepatan translasi a_r .

Jika terdapat sebuah titik yang bergerak dalam lintasan melingkar mengalami percepatan radial a_r yang diarahkan menuju pusat rotasi dan besarnya adalah percepatan sentripetal v^2/r (Gambar 7.5). Karena $v = r\omega$ untuk titik P pada benda yang berotasi, kita dapat menyatakan percepatan sentripetal di titik tersebut dalam bentuk kecepatan sudut sebagai berikut,

$$a_c = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

Total vektor percepatan pada titik tersebut adalah $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_r$, dimana besar \vec{a}_r , adalah percepatan sentripetal a_c . Karena \vec{a} adalah vektor yang memiliki komponen radial dan tangensial, maka besar \vec{a} pada titik P benda tegar yang berputar adalah

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_r^2} = \sqrt{r^2\alpha^2 + r^2\omega^4} = r\sqrt{\alpha^2 + \omega^4}$$

Contoh 7.3

Sebuah pesawat luar angkasa berbelok melingkar dengan radius 3.220 km dengan kecepatan 29.000 km/jam. Berapakah besar a) kecepatan sudut? b) percepatan radial? dan c) percepatan tangensial? dari pesawat luar angkasa tersebut

Solusi

- a) Dengan mengkonversi jam ke detik, maka diperoleh kecepatan sudut (diasumsikan pesawat bergerak ke arah positif) dari persamaan 7.12:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2,9 \times 10^4 \text{ km/jam}}{3.600 \text{ s} \times (3,22 \times 10^3 \text{ km})} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ rad/s}$$

- b) Besar percepatan radial sama dengan percepatan sentripetal, sehingga menggunakan Persamaan. 7.14, maka

$$a_r = \omega^2 r = (2,5 \times 10^{-3} \text{ rad/s})^2 \times (3,22 \times 10^6 \text{ m}) = 20,2 \text{ m/s}^2$$

- c) Asumsikan bahwa kecepatan sudut adalah konstan, maka percepatan sudut dan percepatan tangensial hilang, karena

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = 0$$

dan

$$a_t = r\alpha = 0$$

Hukum Kepler dan Pergerakan Planet-Planet

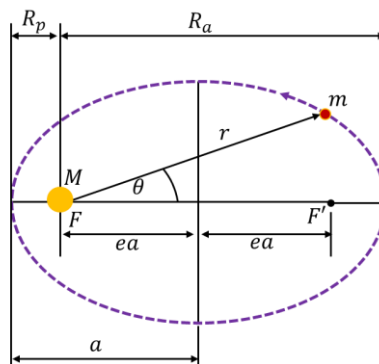
Gerak rotasi pada skala makroskopis dapat terlihat pada pergerakan planet-planet. Pergerakan planet-planet, yang tampaknya mengembara dengan latar belakang bintang-bintang, telah menjadi teka-teki sejak awal sejarah manusia. Salah satunya adalah gerak "mundur (*retrograde*)" venus. Johannes Kepler (1571–1630), setelah studi seumur hidup, menyusun hukum empiris yang mengatur gerakan ini. Gagasan ini dimulai oleh Tycho Brahe (1546–1601), astronom besar terakhir yang melakukan pengamatan tanpa bantuan teleskop, dari data data ekstensif yang ekstensif Brahe, Kepler kemudian menyimpulkannya dalam tiga hukum gerak planet. Selanjutnya Newton (1642–1727) menunjukkan bahwa hukum gravitasinya juga mengarah ke hukum Kepler.

Bagian ini membahas masing-masing dari tiga hukum Kepler sebagai representasi gerak rotasi pada skala makroskopis. Hukum untuk planet yang mengorbit Matahari, berlaku sama untuk satelit, baik satelit alami maupun buatan, yang mengorbit pada Bumi atau benda angkasa lainnya.

1. Hukum Pertama Kepler – Hukum Orbit

“Semua planet bergerak dalam orbit elips, dengan Matahari sebagai fokusnya”

Perhatikan Gambar 7.7, terlihat sebuah planet bermassa m bergerak dalam orbit sedemikian rupa mengelilingi Matahari, yang bermassa M . Asumsikan bahwa pusat massa sistem planet-Matahari kira-kira berada di pusat Matahari.



Gambar 7.7 Planet bermassa m bergerak dalam orbit elips mengelilingi Matahari

Orbit pada Gambar 7.7 dijelaskan dengan memberikan **sumbu semimajor** a dan eksentrisitasnya e , dan ea adalah jarak dari pusat elips ke salah satu fokus F atau F' . Eksentrisitas (Eksentrisitas orbit suatu benda astronomi adalah jumlah ketika orbitnya melenceng dari lingkaran sempurna, 0 berarti lingkaran sempurna, dan 1,0 adalah parabola, dan tidak lagi berupa orbit tertutup) nol sesuai dengan lingkaran, di mana dua fokus bergabung menjadi satu titik pusat. Eksentrisitas orbit planet tidak besar; jadi jika orbit digambar sesuai skala, orbit akan terlihat melingkar. Eksentrisitas elips pada Gambar 7.7, yang telah diperbesar supaya lebih mudah diamati, yaitu sebesar 0,74. Sementara eksentrisitas orbit Bumi sebenarnya hanya 0,0167.

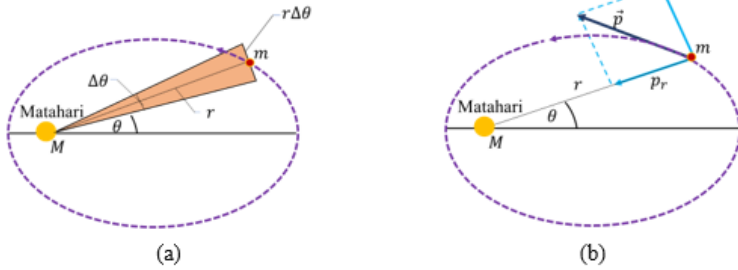
2. Hukum Kedua Kepler – Hukum Luasan

“Setiap planet bergerak sedemikian sehingga suatu garis khayal yang ditarik dari matahari ke planet tersebut mencakup daerah dengan luas yang sama dalam waktu yang sama.”

Secara kualitatif, hukum ini menjelaskan bahwa planet akan bergerak paling lambat saat berada paling jauh dari Matahari dan paling cepat saat berada paling dekat dengan Matahari. Luas irisan yang diarsir pada Gambar 7.8 (a) hampir mendekati luas yang tersapu dalam waktu Δt oleh garis yang menghubungkan Matahari dan planet, yang dipisahkan oleh jarak r . Luas irisan ΔA mendekati luas segitiga dengan alas $r\Delta\theta$ dan tinggi r . Karena luas segitiga adalah setengah alas dikali tinggi, $\Delta A \approx \frac{1}{2} r^2\theta$. Ungkapan untuk ΔA ini menjadi lebih tepat ketika t mendekati nol. Sehingga, luasan daerah yang tersapu menjadi

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \omega$$

dimana ω adalah kecepatan sudut garis yang menghubungkan Matahari dan planet, karena garis tersebut berputar mengelilingi Matahari.



Gambar 7.8 (a) Dalam waktu Δt , garis r yang menghubungkan planet ke Matahari bergerak melalui sudut $\Delta\theta$, menyapu luas ΔA (diarsir). (b) Momentum linier planet dan komponen \vec{p} .

Gambar 7.8(b) menunjukkan momentum linier planet, bersama dengan komponen radial dan tegak lurus \vec{p} . Besarnya momentum sudut planet terhadap Matahari diberikan oleh perkalian r dan p_{\perp} , komponen \vec{p} tegak lurus terhadap r . Luasan daerah sapuan untuk planet bermassa m adalah

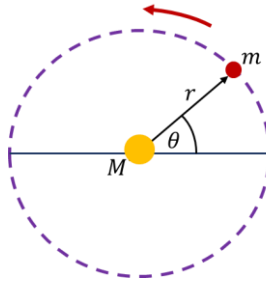
$$L = rp_{\perp} = (r)(mv_{\perp}) = (r)(m\omega r) = mr^2\omega$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{L}{2m}$$

Jika dA/dt konstan, maka Persamaan 7.17 berarti L juga harus konstan—momentum sudut konservatif. Ini menunjukkan Hukum kedua Kepler setara dengan hukum kekekalan momentum sudut.

3. Hukum Ketiga Kepler Ke III – Hukum Periode

“Kuadrat periode suatu planet sebanding dengan pangkat tiga jarak rata-ratanya dari Matahari.”



Gambar 7.9 Planet bermassa m bergerak dalam orbit lingkaran dengan jari-jari r .

Perhatikan orbit lingkaran pada Gambar 7.9, dengan jari-jari r (jari-jari lingkaran setara dengan sumbu semimajor sebuah elips). Dengan menerapkan hukum kedua Newton ($F = ma$) ke planet yang mengorbit pada Gambar 7.9, maka

$$\frac{GMm}{r^2} = (m)(\omega^2 r)$$

Dengan mensubstitusikan bersaran gaya F dan mengganti percepatan sentripetal dengan $\omega^2 r$, serta dengan mengganti ω dengan $2\pi/T$, di mana T adalah periode gerak, akan diperoleh hukum ketiga Kepler:

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) r^3$$

Kuantitas dalam tanda kurung adalah konstanta yang hanya bergantung pada massa M benda pusat yang diorbit planet.

Daftar Pustaka

- Giancoli, D.C. (2005). *Physics Principle with Applications 6th Edition*. New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.
- Serway, R.A., & Jewett Jr., J.W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 9th Edition*. Boston, USA: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Walker, J., Halliday, D. & Resnick, R. (2014). *Fundamentals of Physics – 10th Edition*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Profil Penulis



Neny Kurniawati, S.Si., M.Si.

Ketertarikan penulis terhadap dunia Fisika dimulai pada tahun 2003 silam. Hal tersebut membuat penulis aktifterlibat dalam klub ilmiah sejak duduk di bangku Sekolah Menengah Atas di SMAN 3 Kuala Kapuas. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Program Studi Fisika Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru pada tahun 2011. Sempat berkulat di Laboratorium Fisika SMAN 1 Martapura sebagai Laboran selama 3 tahun. Penulis berkesempatan melanjutkan studi ke jenjang magister melalui program beasiswa Pra S2-S2 Saintek di Program Pasca Sarjana Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dan lulus pada tahun 2016. Sejak 2017 hingga sat buku ini diterbitkan penulis bergabung dengan Program Studi Fisika FMIPA Universitas Palangka Raya sebagai tenaga Dosen.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Instrumentasi, dan Sistem Kontrol. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain meneliti, penulis juga aktif melakukan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi masyarakat, terutama dalam penerapan ilmu Fisika dalam kehidupan.

Email Penulis: nenykurniawati@mipa.upr.ac.id

Reni Agustiani
Universitas Palangka Raya

Gaya

Gaya adalah bagian yang tak lepas dari kehidupan sehari-hari, mulai dari memindahkan barang, menggerakkan tubuh, hingga melakukan pekerjaan lain. Definisi gaya dalam ilmu fisika merupakan suatu besaran vektor yang dapat menyebabkan benda bergerak akibat tarikan atau dorongan sehingga benda mengalami perubahan. Perubahan yang diakibatkan oleh gaya antara lain kecepatan, arah gerak, dan bentuk.



Gambar 8.1 Ilustrasi seseorang sedang melakukan gaya dorong. Sumber: <https://fisikawanamatir.blogspot.com/2016/11/hukum-newton-tentang-gerak.html>

Gaya Sebagai Besaran Vektor

Besaran vektor merupakan suatu besaran yang mempunyai nilai dan arah. Apabila terdapat lebih dari satu gaya yang bekerja pada sebuah benda, maka gaya tersebut dapat dijumlahkan dengan penjumlahan

vektor yang menghasilkan resultan gaya seperti persamaan 8.1 dan besar resultan gaya pada persamaan 8.2.

$$\sum F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n \tag{8.1}$$

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta} \tag{8.2}$$

Satuan gaya dalam sistem internasional (SI) adalah **Newton** (N) dan **dyne** dalam satuan cgs, dimana satu newton setara dengan 10^5 dyne. 1 Newton adalah besarnya gaya yang diperlukan untuk menghasilkan percepatan $1m/s^2$. 1 Newton sama dengan $1 kg.m/s^2$, sedangkan 1 dyne sama dengan $1 g.cm/s^2$. Satuan Newton ini diambil dari nama Sir Isaac Newton untuk menghargai beliau sebagai penemu hukum-hukum alam tentang gerak.

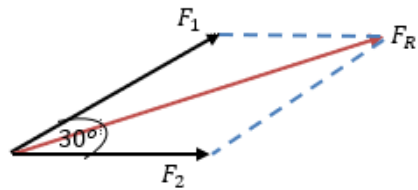
Contoh soal 8.1:

Terdapat dua buah gaya yang bekerja pada titik pangkal yang sama dengan membentuk sudut 30° . Masing-masing gaya memiliki besar 20 N dan 30 N. Tentukan besar dan arah resultan gayanya!.

Pembahasan :

Jika dimisalkan $F_1 = 20N$ dan $F_2 = 30N$ dengan sudut $\theta = 30^\circ$. Besar resultan gaya dapat dicari dengan menggunakan rumus (8.2):

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{20^2 + 30^2 + 2(20)(30) \cos 30^\circ} \\ &= \sqrt{400 + 900 + 1200(0,866)} \\ &= \sqrt{2.339,2} \\ &= 48,36 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 8.2 penjumlahan gaya dengan metode jajargenjang

Sedangkan arah F_R seperti pada gambar 8.2.

Jenis-jenis Gaya

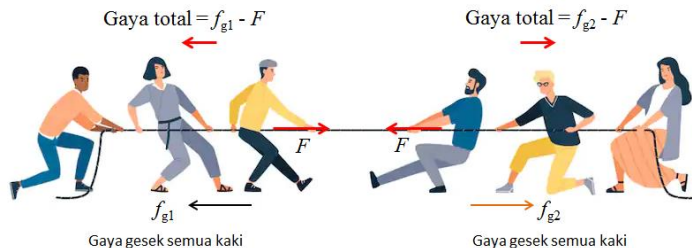
Gaya berdasarkan cara kerjanya dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu gaya sentuh dan gaya tak sentuh.

1. Gaya Sentuh

Pemberi gaya berhubungan secara langsung dengan objeknya. Kontak dalam hal ini dapat bersentuhan secara langsung atau melalui perantara benda lain. Contohnya seperti gaya otot, gaya gesekan, dan gaya pegas.

a. Gaya Otot

Gaya otot ialah gaya yang ditimbulkan oleh otot manusia dan hewan. Salah satu contohnya ialah tarik tambang. Gaya-gaya yang bekerja pada kegiatan tarik tambang sebagai berikut :

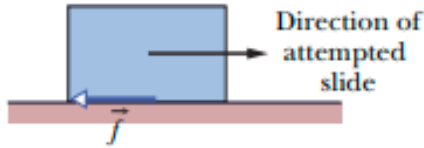


Gambar 8.3 gaya-gaya yang bekerja tarik tambang
Sumber: Mikra/<https://profmikra.org/?p=1718>

Berdasarkan gambar 8.3 kita dapat mengetahui gaya total keluar yang bekerja pada kelompok satu (kiri) $F_1 = f_{g1} - F$ dan gaya total keluar pada kelompok dua (kanan) $F_2 = f_{g2} - F$. Sehingga tim yang memiliki gaya gesek paling besar akan menang.

b. Gaya Gesekan

Jika kita menggeser benda di atas permukaan, gerakan itu ditahan oleh ikatan antara benda dan permukaan. Perlawanan tersebut dianggap sebagai adanya gaya gesekan. Gaya gesek memiliki arah yang berlawanan dengan arah gerakan yang diinginkan (gambar 8.4). Terkadang dalam suatu kasus tertentu, gaya gesek dapat diabaikan untuk menyederhanakan suatu keadaan (permukaannya tanpa gesekan).



Gambar 8.4 Gaya gesek yang berlawanan dengan arah pergerakan benda.

Sumber: Halliday, 2018

Seperti yang telah dipelajari pada bab sebelumnya. Gaya gesek terdiri dari 2 jenis yaitu gaya gesek statis f_s dan gaya gesek kinetik f_k . Gaya gesek statis f_s terjadi jika gaya dorong yang diberikan tidak terlalu besar atau lebih kecil dari gaya dorong maka benda belum bergerak. Sedangkan gaya gesek kinetik f_k terjadi jika gaya dorong yang diberikan lebih besar dari batas maksimum dari gaya gesek statis maka benda mulai bergerak. Dengan kata lain saat benda diam berlaku gaya gesek statis, dan saat benda mulai bergerak berlaku gaya gesek kinetik.

Contoh soal 8.2:

Seorang penerjun payung di kawasan paralayang sedang mencoba meluncur ke bawah dengan percepatan 2 m/s^2 . Massa seorang penerjun dengan payung adalah 70 kg. Berapa gaya gesek oleh udara pada payung?

Pembahasan:

Gaya yang bekerja pada penerjun dan payung adalah gaya tarik bumi $\vec{W} = -mg\hat{j}$ (ke bawah), dan gaya gesek oleh udara \vec{f} (ke atas). Jadi gaya total yang terjadi pada penerjun adalah

$$\begin{aligned}
\vec{F} &= \vec{f} - \vec{W} \\
m\vec{a} &= \vec{f} - (-mg\hat{j}) \\
m\vec{a} &= \vec{f} + mg\hat{j} \\
\vec{f} &= m\vec{a} - mg\hat{j} \\
&= 90x(-2\hat{j}) - 70x(-9,8\hat{j}) \\
&= 506\hat{j} \text{ N}
\end{aligned}$$



Gambar 8.5 Gambar untuk contoh 8.2

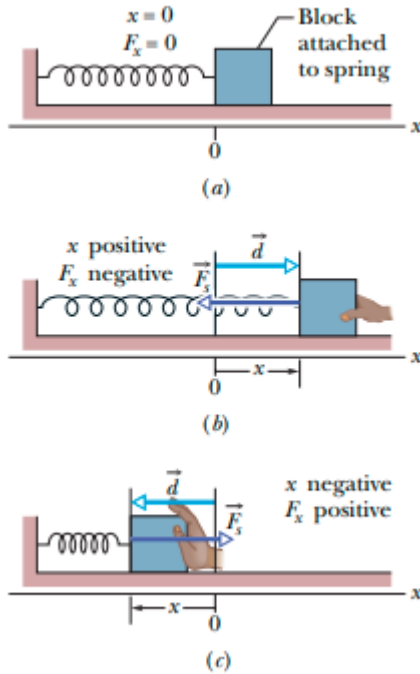
Sehingga gaya gesek \vec{f} oleh udara pada payung sebesar 506 N (ke atas).

c. Gaya Pegas

Gaya Pegas adalah gaya yang ditimbulkan oleh benda yang mengalami pemampatan atau peregangan. Contohnya karet gelang yang ditarik dan permainan ketapel. Perumuskan gaya pegas sering dikenal dengan hukum Hooke:

$$\vec{F}_s = -k\vec{d} \quad (8.3)$$

Hukum Hooke muncul sejak kehadiran Robert Hooke, seorang ilmuwan Inggris diakhir tahun 1600-an. Tanda negatif pada persamaan 8.3 menunjukkan bahwa arah gaya pegas selalu berlawanan dengan arah perpindahan ujung bebas pegas. Konstanta k disebut sebagai konstanta pegas yang mengindikasikan kekakuan pegas. Semakin besar nilai k artinya pegas tersebut semakin kaku. Satuan internasional untuk k adalah N/m.



Gambar 8.6 (a) Pegas dalam kondisi setimbang dimana balok berada tepat pada sumbu $x=0$. (b) Balok ditarik sejauh d dan menyebabkan pegas ketarik pada sumbu x positif. (c) Pegas ditekan sejauh d dan menyebabkan pegas tertekan ke arah sumbu x negatif.

Pada gambar 8.6 saat dalam keadaan setimbang sumbu x sejajar dengan dengan panjang pegas di $x = 0$. Oleh karena itu secara umum kita dapat menuliskan persamaan sebagai berikut :

$$F_x = -kx \quad (8.4)$$

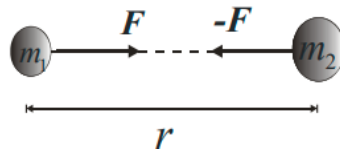
Jika pegas ditarik ke kanan pada sumbu x positif, maka F_x bernilai negatif dan sebaliknya.

2. Gaya Tak Sentuh

Pemberi gaya tidak berhubungan langsung dengan objeknya. Dalam hal ini gaya bisa terjadi meskipun kedua benda terpisah jauh. Contohnya seperti gaya gravitasi, gaya listrik, dan gaya magnet.

a. Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi merupakan salah satu dari gaya yang ada di alam. Besar gaya gravitasi yang terjadi antara dua buah benda bermassa m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r akan memiliki gaya gravitasi sebesar :



Gambar 8.7

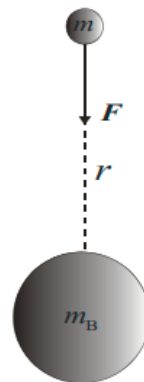
Gaya gravitasi antara dua benda

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (8.5)$$

G adalah konstanta gravitasi universal sebesar $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2 \text{kg}^{-2}$. Gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda dapat dinyatakan sebagai,

$$F = G \frac{m_1 m_B}{r^2} \quad (8.6)$$

Dengan m_B adalah massa bumi dan r adalah jarak benda dengan pusat bumi. Secara umum kita mengetahui bahwa percepatan gravitasi bumi besarnya $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$. Oleh karena itu, setiap benda yang berada di permukaan bumi akan mengalami gaya gravitasi sebesar :



Gambar 8.8

Gaya gravitasi bumi

$$F = mg \quad (8.7)$$

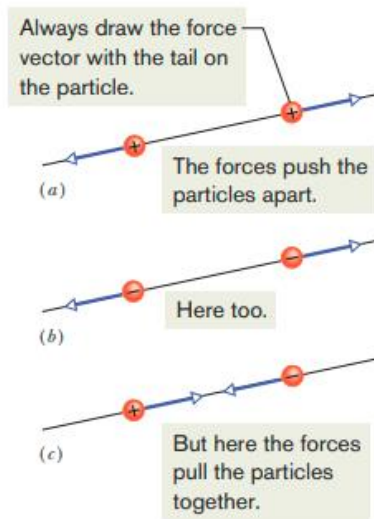
Dengan m adalah massa benda. Gaya gravitasi juga dapat dituliskan dalam bentuk vektor seperti persamaan 8.8 berikut:

$$\vec{F}_g = -F_g \hat{j} = -mg \hat{j} = m\vec{g} \quad (8.8)$$

Dimana \hat{j} adalah vektor satuan yang menunjuk ke atas sepanjang sumbu y, langsung menjauh dari tanah.

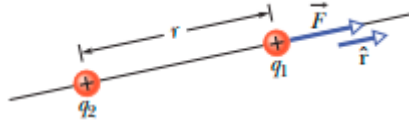
b. Gaya Listrik

Gaya listrik merupakan gaya yang ditimbulkan oleh muatan-muatan listrik atau arus listrik. Contohnya penggaris plastik yang telah digosokkan dengan rambut sehingga dapat menarik serpihan kertas. Jika dua partikel bermuatan yang sama didekatkan satu sama lain, mereka akan saling tolak menolak (gambar 8.9 a dan b). Artinya, gaya yang dialami masing-masing partikel kearah berlawanan menjauhi partikel lain dan jika partikel dapat bergerak maka mereka akan saling menjauh. Sebaliknya, Jika partikel bermuatan yang tidak sejenis, maka keduanya akan saling tarik menarik satu sama lain (gambar 8.9 c) dan jika partikel dapat bergerak maka mereka akan saling mendekat satu dengan yang lain.



Gambar 8.9 (a) terjadi gaya tolak menolak (b) terjadi gaya tolak menolak dan (c) terjadi gaya tarik menarik.

Gaya tarik atau tolak akibat sifat muatan benda disebut dengan gaya elektrostatis. Persamaan yang memberikan gaya pada partikel bermuatan dikenal dengan hukum Coulomb setelah adanya eksperimen yang dilakukan oleh Charles-Augustin de Coulomb pada tahun 1785.



Gambar 8.10 gaya elektrostatis pada partikel 1 dapat dijelaskan dalam vektor satuan sepanjang sumbu melalui 2 partikel.

Berdasarkan gambar 8.10 terdapat dua partikel bermuatan q_1 dan q_2 . Gaya yang bekerja pada partikel 1 adalah

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (8.9)$$

Dimana \hat{r} adalah satuan vektor sepanjang sumbu memanjang antara dua partikel. k adalah konstanta dan r adalah jarak antara kedua partikel.

c. Gaya Magnet

Gaya magnet adalah gaya tarik menarik atau tolak menolak yang ditimbulkan oleh benda yang bersifat magnet. Gaya magnet yang dialami oleh partikel bermuatan yang bergerak sebagai berikut:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (8.10)$$

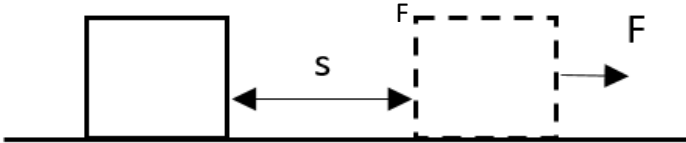
Besar gaya magnetnya adalah

$$|\vec{F}| = |q|vB \sin \theta \quad (8.11)$$

Dimana q adalah muatan partikel (Coulomb), v adalah kecepatan partikel (m/s^2), B adalah medan magnet (Tesla), dan θ adalah sudut antara medan magnet B dengan kecepatan partikel v .

Usaha

Dalam kehidupan sehari-hari manusia sering berbicara tentang usaha, dimana diartikan segala sesuatu yang dikerjakan manusia. Definisi usaha dalam fisika merupakan segala sesuatu yang dilakukan oleh gaya pada sebuah benda, yang menyebabkan benda bergerak pada jarak tertentu.



Gambar 8.11 Usaha dilakukan oleh gaya F

Pada Gambar 8.11 menunjukkan gaya F yang bekerja pada benda yang terletak pada bidang datar sehingga benda berpindah sejauh s . Maka gaya F melakukan usaha sebesar W , yang dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut.

$$W = F \cdot s \quad (8.12)$$

Dimana, W = usaha (joule), F = gaya yang sejajar dengan perpindahan (N), dan s = perpindahan (m).

Sesuai dengan konsep perkalian titik antara dua buah vektor, maka usaha W merupakan besaran skalar. Dalam sistem satuan SI, satuan usaha adalah joule. Satu joule didefinisikan sebagai besarnya usaha yang dilakukan oleh sebuah gaya 1 newton yang bekerja searah dengan perpindahan benda, yang menyebabkan benda berpindah sejauh 1 meter.

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ erg}$$

$$1 \text{ ft}\cdot\text{lb} = 1,356 \text{ joule (sistem Inggris)}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ joule (elektrik)}$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ joule (fisika atom)}$$

Bila gaya yang bekerja pada suatu benda tidak searah dengan arah perpindahan, maka usaha yang dilakukan akan menjadi lebih kecil.

James Prescott Joule



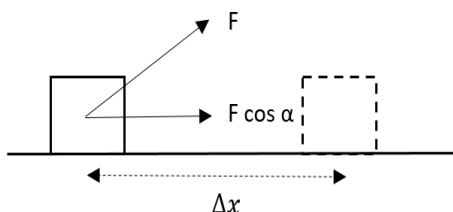
Gambar 8.12. Joule dilahirkan di Salford, Inggris. Ia mempelajari pengaruh pemanasan menggunakan aliran listrik dan menyadari bahwa panas adalah suatu bentuk energi. Namanya kemudian digunakan sebagai ukuran satuan energi. Sumber : Jendela Iptek

Pada Gambar 8.13 usaha yang dilakukan pada benda apabila gaya yang bekerja tidak searah dengan perpindahannya secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$W = F \cos \alpha \cdot \Delta x \quad (8.13)$$

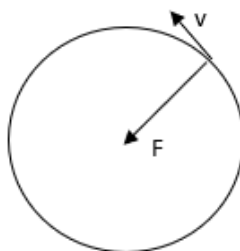
dengan α = sudut antara arah gaya dan perpindahannya

Δx = perpindahan



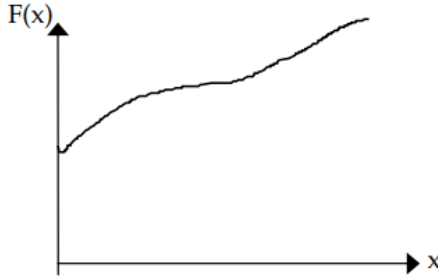
Gambar 8.13 Gaya pada benda yang membentuk sudut dengan arah

Melihat di dalam usaha terdapat dua variabel yang berperan yaitu perpindahan dan gaya (yang searah dengan perpindahannya), maka tidak semua gaya yang bekerja pada suatu benda melakukan usaha. Apabila gaya tersebut berarah tegak lurus dengan arah perpindahan benda, maka gaya tersebut tidak melakukan usaha apapun. Adapun contohnya adalah gaya sentripetal, arahnya tegak lurus lintasannya, maka usaha oleh gaya sentripetal selalu nol.



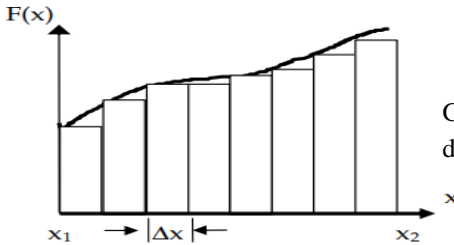
Gambar 8.14. Arah gaya sentripetal yang tegak lurus dengan pergeseran benda

Selain dipengaruhi oleh gaya yang konstan, usaha juga dibedakan dengan pengaruh gaya yang tidak konstan melainkan berubah-ubah dan merupakan fungsi dari suatu variabel tertentu. Misalnya pada saat meregangkan pegas, maka semakin panjang gaya yang diberikan semakin besar. Pada contoh tersebut, gaya merupakan fungsi posisi $F(x)$.



Gambar 8.15 Grafik gaya sebagai fungsi posisi

Analisis untuk mencari nilai usaha total adalah membagi bagian-bagian yang sangat kecil dengan cara membuat persegi panjang dengan lebar Δx dengan tinggi mengikuti kurva $F(x)$ seperti gambar.



Gambar 8.16 Pembagian daerah dibawah kurva

Sehingga untuk setiap pergeseran Δx , besarnya usaha yang dilakukan oleh $F(x)$

$$\Delta W = F(x)\Delta x \quad (8.14)$$

$$W = \sum F(x)\Delta x \quad (8.15)$$

Persamaan tersebut merupakan jumlas luas total dibawah kurva $F(x)$. untuk meminimalkan nilai eror dengan cara membuat Δx sekecil mungkin, $\Delta x \rightarrow 0$

$$W = \lim \sum_{\Delta x \rightarrow 0} F(x)\Delta x \quad (8.16)$$

Ataupun dalam bentuk integral dapat dinyatakan dengan :

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx \quad (8.17)$$

Demikian untuk menganalisis usaha total yang dipengaruhi oleh gaya yang tidak konstan.

Daftar Pustaka

Giancoli, D.C. (2016). *Physics Principles with Applications* (7th ed). USA: Courier Kendallville

Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2018). *Fundamentals of Physics* (11th ed.). Wiley: Libgen.lc.pdf. (n.d.).

Serway, R. A., Jewett, J.W. (2010). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. USA: Mary Finch

Profil Penulis



Reni Agustiani, M.Si.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu eksak dimulai pada tahun 2008 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas di SMA N 1 Bangorejo dengan memilih Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam dan berhasil lulus pada tahun 2011. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Prodi Fisika Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada tahun 2015. Dua tahun kemudian, penulis menyelesaikan studi S2 di Prodi Fisika Fakultas Ilmu Alam Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini penulis bekerja sebagai dosen Fisika di Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Fisika Bumi atau Geofisika. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan penentuan keberadaan reservoir minyak bumi dan gempa vulkanik G. Agung Bali. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: reniagustiani@mipa.upr.ac.id

Gusti Ayu Rai Tirta
SMK Bintang Persada Denpasar, Bali – Indonesia

Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, semua aktivitas yang kita lakukan menggunakan atau menghasilkan energi. Mulai dari bangun tidur ketika kita membuka mata maka saat itu kita sudah menyerap energi foton dari lampu yang menerangi ruang tidur kita. Pada saat yang bersamaan, kita juga sudah menggunakan energi listrik sehingga lampu dapat menyala. Lebih spesifik lagi, saat baru bangun tidur pun kita pula sudah menggunakan energi panas dari hasil pembakaran dalam tubuh untuk menghangatkan tubuh kita. Contoh-contoh tersebut merupakan bukti secara nyata dimana kita selalu berhubungan dengan energi dan tidak pernah lepas dari proses menghasilkan dan menggunakan energi tersebut. Dengan demikian, energi yang merupakan salah satu representasi sifat yang dimiliki oleh sebuah entitas fisis menjadi sangat penting untuk dipahami baik secara konseptual maupun praktis.

Dalam konteks fisika, energi didefinisikan sebagai kuantitas fisis yang mewakili dinamika gerak suatu benda. Misalnya, para pelari maraton bergerak dengan kecepatan tertentu sepanjang lintasan untuk mencapai garis *finish* seperti Gambar 9.1. Dalam hal ini, dinamika gerakan para pelari maraton dapat diwakilkan dengan besaran energi yang dimiliki, yaitu berupa energi kinetik. Semakin kencang pelari bergerak maka semakin besar energi kinetik yang dimilikinya sehingga perubahan energinya pun semakin besar. Pada saat yang bersamaan, para pelari juga mengalami proses metabolisme sel di dalam tubuhnya sehingga memicu terjadi proses pembakaran zat-zat makanan menjadi energi, baik energi kimiawi maupun energi termal. Energi kimia digunakan untuk meningkatkan kinerja otot serta organ-organ dalam tubuh pelari sehingga tetap fit. Energi kimia dalam konteks ini sebagai bentuk

kuantitas proses kimia yang terjadi selama pembakaran zat-zat makanan yang terjadi dalam tubuh pelari. Sementara itu, para pelari akan mengalami peningkatan temperatur tubuh. Kondisi ini menunjukkan bahwa para pelari memiliki energi termal (disebut pula energi panas). Para pelari mengalami peningkatan energi termal. Energi termal ini merupakan bentuk kuantitas panas yang dimiliki pelari dicirikan dengan nilai temperatur tubuh pelari.



Gambar 9.1. Pelari maraton menggunakan serta memanfaatkan energi saat berlari.

Terdapat berbagai bentuk energi dalam kehidupan sehari-hari. Pertama, ketika kita fokus membahas terkait kuantitas termal yang dimiliki oleh suatu benda maka kita akan menyatakan benda itu memiliki energi termal. Contohnya adalah segelas kopi yang diseduh dengan air bertemperatur 95°C , maka minuman kopi akan memiliki energi termal yang bersesuaian dengan temperaturnya. Kedua, apabila kita fokus pada kuantitas proses kimia yang dimiliki sebuah benda yaitu senyawa kimia, maka energi kimia yang dimiliki oleh senyawa tersebut sebanding dengan jenis dan konsentrasi molekul-molekul serta atom-atom penyusunnya untuk mengalami reaksi kimia. Energi kimia ini umumnya dinyatakan dalam satuan kalori. Contohnya adalah tepung sebagai sumber karbohidrat. Setiap jenis tepung memiliki nilai kalori yang berbeda-beda. Itu artinya bahwa setiap jenis tepung memiliki energi kimia yang berbeda-beda. Ketiga, energi cahaya atau energi foton yang menunjukkan kuantitas foton yang dihasilkan oleh sumber cahaya. Foton adalah bentuk eksitasi kolektif

gelombang elektromagnetik. Energi foton bergantung pada frekuensinya. Semakin besar frekuensi radiasi gelombang elektromagnetiknya maka semakin besar pula energi foton yang dimiliki. Contohnya adalah dua buah lampu LED (*light emitting diode*) yang masing-masing meradiasikan cahaya biru dan merah. LED dengan radiasi cahaya biru tentu akan menghasilkan energi foton jauh lebih besar daripada LED dengan radiasi cahaya merah sebab frekuensi cahaya biru lebih besar daripada cahaya merah. Keempat, energi listrik adalah bentuk kuantitas muatan-muatan listrik yang dimiliki oleh sebuah benda bermuatan yang mengalami beda tegangan listrik (beda potensial listrik) tertentu. Contohnya adalah baterai yang memiliki kuantitas muatan berbeda akan mampu menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang berbeda pula saat diberikan beda tegangan yang sama. Kelima, energi kinetik seperti yang telah dibahas sebelumnya pada contoh pelari maraton, bahwa energi kinetik menyatakan kuantitas gerak suatu benda fisika. Semakin cepat gerakan benda maka semakin besar pula energi kinetik yang dimiliki benda itu. Contohnya adalah gerakan bola sepak. Ketika bola sepak ditendang lebih keras maka bola sepak mampu bergerak lebih cepat sehingga bola sepak akan memiliki energi kinetik yang juga lebih besar. Keenam, energi potensial yang dicirikan dengan adanya suatu potensial dimiliki atau dialami oleh sebuah benda. Energi potensial secara khusus disebutkan sesuai jenis potensial yang dimiliki atau dialami oleh benda. Apabila benda bermuatan mengalami beda potensial listrik, maka benda ini dinyatakan memiliki energi potensial listrik. Apabila benda mengalami potensial magnetik, maka benda memiliki energi potensial magnetik. Begitu pula dengan energi potensial gravitasi, yaitu energi potensial yang muncul sebagai akibat interaksi massa yang dialami oleh dua buah benda. Contohnya adalah manusia mengalami energi potensial gravitasi dari Bumi karena Bumi memberikan tarikan gravitasi kepada manusia.

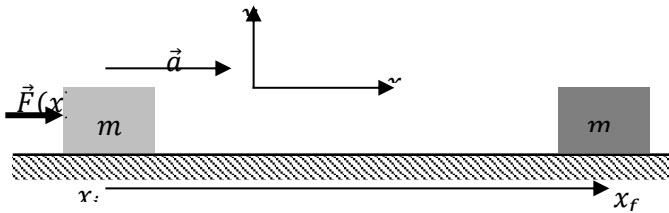
Terkait jenis-jenis energi tersebut, maka pada bab ini dibahas secara spesifik tentang energi kinetik, energi potensial, dan energi mekanik. Energi mekanik adalah gabungan antara energi kinetik dan energi potensial yang dimiliki oleh sebuah benda. Ketiga jenis energi tersebut merupakan bentuk energi yang paling mendasar dalam kehidupan kita sehari-hari. Oleh sebab itu, melalui pembahasan ketiga bentuk energi tersebut maka kita diharapkan mampu memahami konsep energi secara utuh dan mampu mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam rangka melakukan upaya pengembangan sumber energi terbarukan maupun untuk melakukan konversi energi serta pengelolaannya yang berkesinambungan.

Energi Kinetik

Energi kinetik disebut juga sebagai energi gerak yang dimiliki oleh benda yang sedang bergerak. Ciri-ciri utama energi kinetik adalah adanya nilai kecepatan v yang dimiliki oleh benda bermassa m yang sedang bergerak. Benda yang bergerak translasi akan memiliki energi kinetik translasi. Benda yang bergerak rotasi akan memiliki energi kinetik rotasi. Sementara benda yang menggelinding akan memiliki energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasi.

1. Energi Kinetik Translasi

Pada Bab 8 telah dibahas penyebab gerakan sebuah benda adalah gaya \vec{F} . Berdasarkan Hukum II Newton, sebuah benda yang memperoleh gaya \vec{F} akan mengalami percepatan \vec{a} . Secara detail gerakan benda ini dapat diilustrasikan pada Gambar 9.2.



Gambar 9.2. Benda bermassa m dikenai gaya sebagai fungsi posisi sepanjang x_i hingga x_f .

Besarnya usaha yang dihasilkan oleh gaya \vec{F} ini dari posisi awal x_i hingga posisi akhir x_f dapat dinyatakan dengan persamaan 9.1),

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx = \int_{x_i}^{x_f} ma dx \dots\dots\dots 9.1)$$

Jika $a = \frac{dv}{dt}$ maka,

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx = \int_{x_i}^{x_f} m \frac{dv}{dt} dx \dots\dots\dots 9.2)$$

Kecepatan v sebagai fungsi waktu t . Bentuk $\frac{dv}{dt}$ dapat dimodifikasi

menjadi $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v$. Substitusikan hasil ini ke persamaan 9.2),

$$W = \int_{x_i}^{x_f} m \frac{dv}{dx} v dx = \int_{v_i}^{v_f} mv dv \dots\dots\dots 9.3)$$

Selesaikan persamaan integral tersebut sehingga diperoleh hasil,

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \dots\dots\dots 9.4)$$

Persamaan 9.4 secara fisis menunjukkan bahwa total usaha yang dikerjakan oleh gaya-gaya yang bekerja pada benda bermassa m adalah digunakan untuk merubah energi benda. Energi tersebut dinyatakan sebagai energi kinetik translasi, yaitu

$$E_{k\ tran} = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots 9.5)$$

Jadi, apabila sebuah benda bermassa m bergerak dengan nilai kecepatan v akan memiliki energi kinetik translasi sebesar E_k . Energi kinetik ini merupakan besaran skalar dan memiliki satuan SI yaitu Joule. Energi kinetik translasi memiliki dimensi yaitu $[ML^2T^{-2}]$.

Contoh Soal 1:

Sebuah bola sepak bermassa 1 kg bergerak secara translasi dari keadaan diam dengan percepatan konstan sebesar 2 m/s^2 . Hitung besarnya energi kinetik bola saat detik ke-10! Hitung pula perubahan energi kinetik yang terjadi selama benda bergerak 15 detik pertama!

Pembahasan:

Kedaaan fisis: Bola sepak ini hanya bergerak secara translasi. Energi kinetik yang dimiliki bola sepak hanya berupa energi kinetik translasi. Oleh karena itu, energi kinetik translasi bola akan berubah setiap saat akibat berubahnya nilai kecepatan bola dibawah pengaruh percepatan konstan yang dialami bola. Nilai

kecepatan bola sebagai fungsi waktu dapat dihitung melalui persamaan 9.6,

$$v(t) = v_o + at \dots\dots\dots 9.6)$$

Analisis matematis:

- Mula-mula bola sepak dalam keadaan diam sehingga nilai kecepatan awal bola sepak adalah 0 m/s dan energi kinetiknya $E_{k_o} = 0$ Joule.
- Nilai kecepatan bola sepak saat detik ke-10 adalah $v(10) = 0 + 2 \cdot 10 = 20$ m/s.

Energi kinetik bola pada waktu ini adalah $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 20^2 = 200$ Joule.

- Nilai kecepatan bola sepak saat detik ke-15 adalah $v(15) = 0 + 2 \cdot 15 = 30$ m/s.

Energi kinetik bola pada waktu ini adalah $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 30^2 = 450$ Joule.

Jadi, bola sepak mengalami perubahan energi kinetik sebesar 450 Joule selama 15 detik pertama.

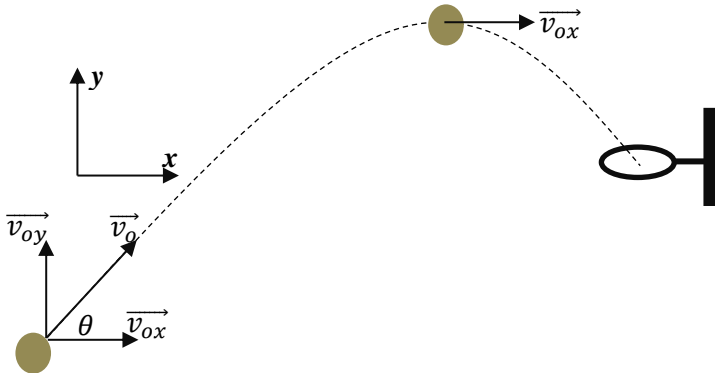
Contoh Soal 2:

Dalam ajang pertandingan basket antar SMA di kota Denpasar tahun 2023, Gede melakukan atraksi *shooting* bola secara sempurna ke keranjang lawan. Bola dilemparkan dengan kecepatan awal 20 m/s dan elevasi 60°. Apabila massa bola dianggap 1,5 kg, maka energi kinetik translasi yang dimiliki bola saat berada di posisi tertinggi lintasannya! Hitung pula perubahan energi kinetik bola setelah bergerak 2 detik pertama! Gunakan $g = 10$ m/s².

Pembahasan:

Keadaan fisis: Bola basket dalam kondisi ini memiliki lintasan berupa parabola seperti diilustrasikan dengan Gambar 9.3. Pada posisi tertinggi lintasannya, bola basket tidak memiliki komponen kecepatan arah vertikal. Komponen kecepatan arah horisontal tidak sama dengan nol dan nilainya konstan di sepanjang lintasan bola basket. Dengan demikian, nilai kecepatan total bola basket

saat di posisi tertinggi lintasannya sama dengan komponen kecepatan awal arah horizontal.



Gambar 9.3. Ilustrasi lintasan bola basket.

Analisis matematis:

- Nilai komponen kecepatan bola searah sumbu x adalah $v_{ox} = v_o \cos 60 = 10 \text{ m/s}$.
- Energi kinetik bola sesaat berada di posisi tertinggi lintasan adalah $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 10^2 = 75 \text{ Joule}$.
- Saat detik ke-2, bola memiliki nilai komponen kecepatan arah vertikal yaitu:

$$v(t)_y = v_o \cdot \sin \theta - gt \rightarrow v(2)_y = 20 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} - 10 \cdot 2 \approx -2,7 \text{ m/s}$$

- Kecepatan total bola saat detik ke-2 adalah :

$$v(t) = \sqrt{v(2)_x^2 + v(2)_y^2} \rightarrow v(2) = \sqrt{100 + 7,29} \approx 10,36 \text{ m/s}$$

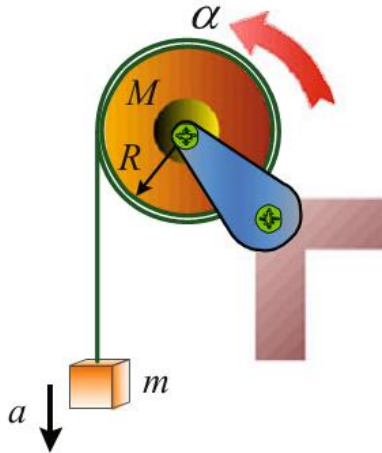
- Energi kinetik bola setelah bergerak 2 detik pertama adalah

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 10,36^2 = 107,32 \text{ Joule}$$

Jadi, perubahan energi kinetik yang dialami bola basket pada dua detik pertama sebesar 107,32 Joule.

2. Energi Kinetik Rotasi

Sebuah benda juga dapat mengalami gerak rotasi, contohnya roda berotasi terhadap porosnya. Selain itu, sebuah bola sepak juga mengalami rotasi terhadap sumbu yang melalui pusat massanya. Lebih visual lagi, bayangkan gerak rotasi yang dialami sebuah katrol, seperti disajikan melalui Gambar 9.4.



Gambar 9.4. Gerak rotasi sebuah katrol bermassa M dan berjari-jari R .

Kita telah mengetahui bahwa sebuah benda yang bermassa m dan mengalami kecepatan v akan memiliki energi kinetik sebesar $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Sementara benda yang berotasi dengan kecepatan sudut ω dan momen inersia I akan memiliki energi kinetik rotasi sebesar

$$E_{k\ rot} = \frac{1}{2} I\omega^2 \dots\dots\dots 9.7)$$

Momen inersia I mewakili massa benda dalam persamaan energi kinetik translasi. Momen inersia memiliki satuan $kg.m^2$ dan dimensi $[ML^2]$. Nilai momen inersia I tergantung pada posisi sumbu rotasi terhadap pusat massa benda serta distribusi massa benda apakah bersifat diskrit atau kontinu. Sementara itu, kecepatan sudut ω mewakili nilai kecepatan anguler benda dalam persamaan energi kinetik translasi. Kecepatan sudut memiliki satuan rad/s dan dimensi $[T^{-1}]$.

Contoh Soal 1:

Sebuah katrol bermassa $M = 1\ kg$ berotasi melalui sebuah poros di titik pusat massanya. Katrol berotasi dengan nilai kecepatan sudut

konstan sebesar $\omega = 20 \text{ rad/s}$. Apabila jari-jari katrol adalah 30 cm, maka hitung energi kinetik rotasi katrol!

Pembahasan:

Keadaan fisis: Katrol berotasi melalui sebuah poros statis di pusat massanya seperti tampak pada Gambar 9.4. Oleh karena itu, katrol hanya memiliki energi kinetik rotasi yang besarnya dihitung menggunakan persamaan 9.7. Nilai momen inersia katrol adalah $I = \frac{1}{2} MR^2$.

Analisis matematis:

- Nilai momen inersia katrol

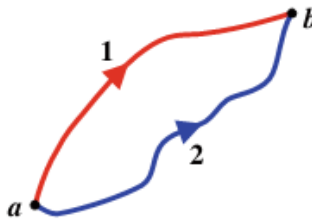
$$I = \frac{1}{2} MR^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (0,3)^2 = 0,045 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

- Energi kinetik rotasi katrol

$$E_{k \text{ rot}} = \frac{1}{2} I\omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,045 \cdot 20^2 = 9 \text{ Joule}.$$

Energi Potensial

Pada bab sebelumnya kita telah diperkenalkan konsep gaya, secara spesifik menyangkut gaya konservatif. Gaya konservatif ini adalah sebuah gaya yang hanya bergantung pada posisi titik-titik gaya dan tidak bergantung pada lintasan yang dilalui untuk mencapai titik-titik gaya tersebut (Gambar 9.5).



Gambar 9.5. Ilustrasi cara kerja gaya konservatif.

Berdasarkan ilustrasi ini, maka usaha yang dikerjakan oleh gaya konservatif pada sebuah benda baik melalui lintasan 1 maupun 2 adalah sama. Nilai usaha yang dikerjakan tidak bergantung pada bentuk lintasan, melainkan bergantung pada posisi titik awal dan titik akhir. Apabila posisi kedua titik adalah sama, maka bagaimana pun bentuk lintasan benda yang bergerak akan mengerjakan usaha yang sama.

Dalam konteks ini, gaya gravitasi dan gaya elastik pegas merupakan contoh gaya konservatif. Apabila kita definisikan U sebagai ungkapan energi potensial yang dimiliki oleh sebuah benda, maka usaha yang dikerjakan oleh gaya konservatif \vec{F} pada benda tersebut menyebabkan perubahan energi potensial benda menjadi lebih kecil. Secara matematis, pernyataan ini dapat diungkapkan melalui persamaan 9.8,

$$W_{kon} = -\Delta U = U_i - U_f \dots\dots\dots 9.8)$$

dimana $\Delta U = U_f - U_i$.

Misalkan sebuah benda bergerak sepanjang sumbu X dibawah pengaruh gaya konservatif \vec{F} maka perubahan energi potensial yang dialami benda dapat diungkapkan secara eksplisit melalui persamaan 9.9,

$$\Delta U = U_f - U_i = -\int_i^f F_x dx \dots\dots\dots 9.9)$$

atau

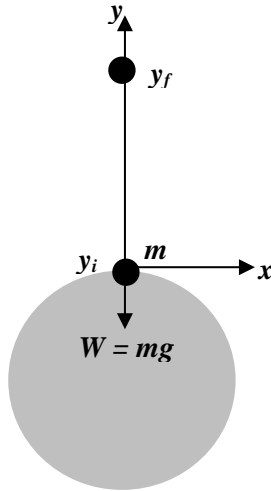
$$F_x = -\frac{dU}{dx} \dots\dots\dots 9.10)$$

dimana F_x adalah nilai komponen gaya \vec{F} pada arah sumbu X.

Energi Potensial Gravitasi

Perhatikan sebuah benda bermassa m bergerak secara vertikal sepanjang sumbu Y dari titik y_i ke titik y_f seperti diilustrasikan pada Gambar 9.6. Pada benda m bekerja gaya berat \vec{W} yang diakibatkan oleh interaksi massa m dengan planet bermassa M . Arah vektor gaya berat ini berlawanan dengan arah gerak benda dari titik y_i ke titik y_f . Perubahan energi potensial yang dialami benda m dapat diungkapkan melalui persamaan 9.11,

$$\Delta U = U_f - U_i = -\int_{y_i}^{y_f} (-mg)dy = mg \int_{y_i}^{y_f} dy = mg(y_f - y_i) = mg\Delta y \dots\dots\dots 9.11)$$



Gambar 9.6. Ilustrasi pergerakan benda m dari posisi y_i ke y_f .

Apabila U_i diambil sebagai acuan energi potensial bernilai 0 Joule ketika $y_i = 0$ meter, maka $\Delta U = U_f - U_i = mg(y_f - 0) = mgy_f$.

Secara umum, energi potensial gravitasi pada ketinggian y dari permukaan planet dapat dirumuskan dengan persamaan 12,

$$U = mgy \dots\dots\dots 9.12)$$

Contoh Soal

Sebuah peluru bermassa 0,01 kg ditembakkan secara vertikal ke atas dengan kecepatan awal 50 m/s. Misalkan percepatan gravitasi yang bekerja pada tempat tersebut adalah $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka hitung energi potensial peluru saat berada di posisi tertinggi!

Pembahasan:

Keadaan fisis: Dalam rangka menghitung energi potensial peluru, maka kita harus mengetahui terlebih dahulu ketinggian maksimum yang dicapai peluru.

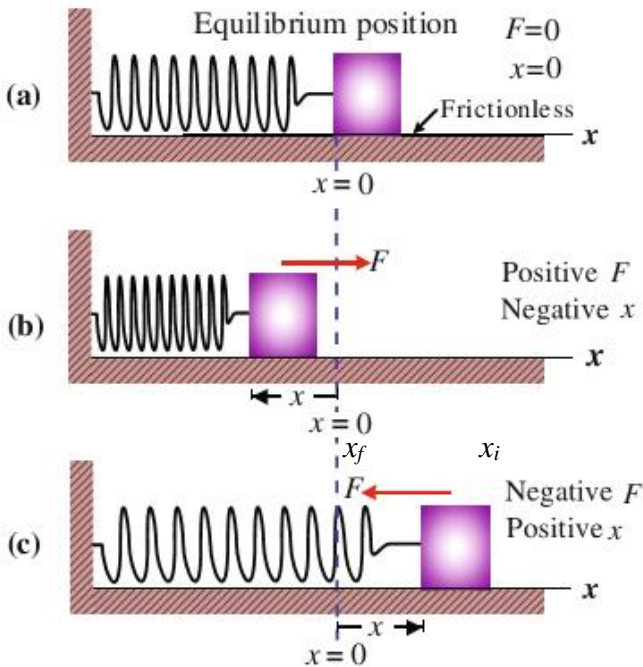
Analisis matematis:

- Ketinggian maksimum peluru $y_{mak} = \frac{v_o^2}{2g} = \frac{50^2}{2 \cdot 10} = 125 \text{ m}$.

- Energi potensial peluru adalah $U_{mak} = mgy_{mak} = 0,01 \cdot 10 \cdot 125 = 12,5$ Joule.

Energi Potensial Elastik

Energi potensial elastik dimiliki oleh sebuah pegas yang diregangkan atau ditekan sehingga mengalami perubahan panjang sebesar x dari posisi x_i ke x_f seperti diilustrasikan dengan Gambar 9.7. Apabila pegas memiliki konstanta kekakuan k , maka besar gaya yang bekerja pada pegas adalah $F = -kx$.



Gambar 9.7. Ilustrasi gerak pegas.

Perubahan energi potensial pegas adalah

$$\Delta U = U_f - U_i = - \int_{x_i}^{x_f} (-kx)dx = k \int_{x_i}^{x_f} xdx = \frac{1}{2} k(x_f^2 - x_i^2)$$

.....9.13)

Apabila $x_i = 0$, maka perubahan energi potensial pegas menjadi

$$\Delta U = \frac{1}{2} kx_f^2 \dots\dots\dots 9.14)$$

Secara umum, persamaan energi potensial yang dimiliki oleh pegas yang teregang atau tertekan sepanjang x adalah

$$U = \frac{1}{2} kx^2 \dots\dots\dots 9.15)$$

Contoh Soal

Sebuah pegas memiliki konstanta kekakuan 10 N/m diregangkan sepanjang 10 cm. Hitung energi potensial elastik yang dimiliki pegas!

Pembahasan:

Keadaan fisis: Energi potensial elastik yang dimiliki pegas berbanding lurus dengan kuadrat perubahan panjang pegas.

Analisis matematis:

- Energi potensial elastik pegas adalah

$$U = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (0,1)^2 = 0,05 \text{ Joule.}$$

Energi Mekanik

Energi yang dimiliki oleh sebuah benda tidak dapat dipandang secara parsial hanya energi kinetik atau energi potensial. Energi yang dimiliki oleh benda merupakan total energi kinetik dan energi potensial yang dikenal dengan istilah energi mekanik. Secara matematis, ungkapan energi mekanik yang dimiliki oleh sebuah benda dapat dinyatakan dengan persamaan 9.16,

$$E = E_{kinetik} + U \dots\dots\dots 9.16)$$

atau dalam bentuk yang lebih detail dinyatakan dengan persamaan 9.17,

$$E = \frac{1}{2} mv^2 + U \dots\dots\dots 9.17)$$

Sementara itu, perubahan energi mekanik yang dialami benda dapat dinyatakan dengan persamaan 9.18,

$$\Delta E = E_f - E_i = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) - (U_f - U_i) \dots\dots\dots 9.18)$$

Contoh Soal

Sebuah bola bermassa 0,25 kg dilontarkan secara vertikal dengan kecepatan awal 100 m/s. Apabila percepatan gravitasi di tempat itu adalah $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka hitung energi mekanik yang dimiliki bola saat detik ke-5!

Pembahasan:

Keadaan fisis: Energi mekanik adalah total energi kinetik dan energi potensial yang dimiliki benda. Energi kinetik bola sebanding dengan kuadrat nilai kecepatannya. Sementara itu, energi potensial gravitasi bola sebanding dengan ketinggian bola dari titik acuan. Oleh karena itu, untuk menghitung energi kinetik bola maka harus dihitung terlebih dahulu nilai kecepatan bola saat detik ke-5. Begitu pula untuk menghitung energi potensial bola, maka harus dihitung terlebih dahulu ketinggian bola saat detik ke-5.

Analisis matematis:

- Nilai kecepatan bola saat detik ke-5 adalah $v = v_o - gt = 100 - 10 \cdot 5 = 50 \text{ m/s}$.
- Energi kinetik bola adalah $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 50^2 = 312,5 \text{ Joule}$.
- Ketinggian bola saat detik ke-5 adalah $y = y_o + v_o t - \frac{1}{2}gt^2$,
maka $y = 0 + 100 \cdot 5 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 5^2 = 375 \text{ m}$.
- Energi potensial bola adalah $U = mgy = 0,25 \cdot 10 \cdot 375 = 937,5 \text{ Joule}$.
- Energi mekanik bola adalah $E = E_k + U = 312,5 + 937,5 = 1250 \text{ Joule}$.

Hukum Kekalan Energi

Ketika benda dikenai gaya \vec{F} yang bersifat konservatif, maka usaha yang dikerjakan gaya tersebut pada benda tidak menyebabkan terjadinya perubahan energi mekanik benda. Akibatnya, energi

mekanik benda akan lestari. Ungkapan ini dapat dinyatakan dengan persamaan 9.21,

$$W = \Delta E = E_f - E_i = 0 \dots\dots\dots 9.19)$$

sehingga

$$E_i = E_f \dots\dots\dots 9.20)$$

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + U_f \dots\dots\dots 9.21)$$

Contoh Soal

Sebuah bola bermassa 0,25 kg dilontarkan secara vertikal dengan kecepatan awal 100 m/s. Apabila percepatan gravitasi di tempat itu adalah $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka hitung energi mekanik yang dimiliki bola saat mencapai ketinggian maksimum!

Pembahasan:

Keadaan fisis: Tidak ada gaya non-konservatif yang bekerja pada benda. Gaya gravitasi dalam hal ini merupakan gaya konservatif selalu bekerja pada benda. Gaya konservatif ini tidak menyebabkan perubahan energi mekanik benda. Dengan demikian, energi mekanik benda di setiap titik sepanjang lintasan vertikal benda selalu konstan. Energi mekanik benda di ketinggian maksimum sama dengan energi mekanik benda saat di posisi awal sesuai persamaan 9.19.

Analisis matematis:

- Energi mekanik di titik tertinggi $E_{mak} = E_{awal}$
- Energi mekanik awal $E_{awal} = E_{k\text{ awal}} + U_{awal}$
- Energi kinetik awal

$$E_{k\text{ awal}} = \frac{1}{2}mv_o^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 100^2 = 1250 \text{ Joule.}$$
- Energi potensial awal $U_{awal} = mgy_o = 0 \text{ Joule.}$
- Jadi, energi mekanik benda di titik tertinggi adalah

$$E_{mak} = E_{k\text{ awal}} + U_{awal} = 1250 \text{ Joule.}$$

Daftar Pustaka

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar I. (tidak diterbitkan)*. Bandung: Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- Berendsen, H.J.C. 2011. *A Student's Guide to Data and Error Analysis*. The United Kingdom: Cambridge University Press.
- Fleisch, D. 2008. *A Student's Guide to Vectors and Tensors*. The United Kingdom: Cambridge University Press.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. 2015. *Fundamental Physics*, 10th edition. New York: Addison-Wesley.
- Lemons, D. S. 2017. *A Student's Guide to Dimensional Analysis*. The United Kingdom: Cambridge University Press.
- Serway, R.A & Jewett, J. 2014. *Physics for Scientists and Engineers*. Singapore: Brooks/Cole Cengage Learning.
- Tipler, P.A. 2008. *Physics for Scientists and Engineers Sixth Edition*. New York: W. H. Freeman and Company

Profil Penulis



Gusti Ayu Rai Tirta, S.Pd., M.Pd

Penulis lahir di Kota Denpasar Bali pada tanggal 24 Maret 1994. Penulis telah menyelesaikan studi sarjana dari Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Pendidikan Ganesha pada tahun 2016 dan jenjang magister dari Program Studi S2 Pendidikan Sains konsentrasi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Surabaya pada tahun 2018. Sejak tahun 2018 hingga saat ini penulis menjadi guru fisika di SMK Bintang Persada Denpasar. Penulis aktif melakukan riset dibidang pendidikan dan telah mempublikasikan hasil karyanya diberbagai jurnal nasional terakreditasi serta prosiding internasional terindeks Scopus. Penulis sangat aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan konferensi nasional dan internasional dibidang pendidikan. Selama ini penulis menekuni berbagai topik riset pendidikan, seperti implementasi model pembelajaran inovatif, *assessment* dan evaluasi pembelajaran, pengembangan kurikulum, pengembangan perangkat pembelajaran, teknologi pendidikan, serta pengembangan media pembelajaran inovatif berbasis teknologi digital. Tahun 2022 penulis berhasil meraih *Gold Medal* pada *International Research Teacher Competition* untuk kategori *life science* yang diselenggarakan oleh *Indonesian Young Scientist Association (IYSA)*. Penulis juga merupakan salah satu *awardee Grant SEAMEO QITEP in Science* tahun 2020, *the Best Spirit Teacher Student Company Program School Year 2018-2019*, *A Teacher of Student Company Youth Socio-preneurship Education Program School Year 2018-2019*, *A Teacher of JA BE Entrepreneurial Youth Socio-preneurship Education Program School Year 2018-2019*. Penulis dapat dikontak melalui email gustiayuraitirta@gmail.com.

MOMENTUM LINEAR

Sri Mayanty
Universitas Indraprasta PGRI

Pusat Massa



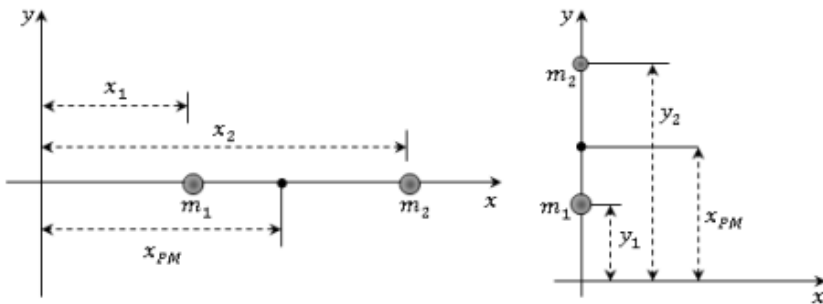
Gambar 10.1
Penari balet
Sumber : canva

Pernahkan kalian melihat gerakan ballerina?

Sebagian besar Gerakan tarian balet menerapkan hukum kelembaman. Gerakan-gerakan pada tarian balet salah satunya adalah diam seimbang. Seorang ballerina memulai tariannya dengan berjinjit seimbang di atas satu kaki, kaki yang lain terangkat ke belakang dan tangan terangkat ke atas. Menurut hukum keseimbangan, posisi berdiri di atas daerah kecil bisa tercapai jika pusat berat ballerina tepat di atas titik tumpunya. Tetapi Ketika posisi pusat berat ballerina menyimpang dari posisi seimbang. Maka gaya gravitasi akan membuat ballerina terpelanting dalam waktu yang relatif singkat (Surya, 2015).

Pusat massa sebuah benda merupakan titik dimana gaya total dianggap bekerja untuk tujuan menentukan gerak translasi benda sebagai satu kesatuan. Gerak dari suatu system data diprediksi dengan menentukan pusat massa (*center mass*). Asumsi pusat massa yaitu: 1) semua massa sistem terkonsentrasi di titik tersebut, 2) penerapan gaya luar. Gerak partikel atau benda dalam sistem dipengaruhi oleh gaya eksternal yang bekerja.

Pusat massa sistem partikel di analisis berdasarkan tiga sistem koordinat, agar mudah menentukan garis, bidang, maupun ruang yang digambarkan dalam sumbu x, y dan z.



Sistem di atas terdiri dari dua partikel bermassa m_1 , dan m_2 berada pada sumbu x (horizontal) pada posisi x_1 dan x_2 , maka pusat massa dari sistem tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$x_{pm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

Jika massa $m_1 = m_2$, pusat massa berada di tengah-tengah kedua partikel tersebut dan pusat massa lebih dekat ke partikel dengan massa yang lebih besar. Sedangkan sistem partikel yang berada pada sumbu y, dirumuskan:

$$y_{pm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2}$$

Berdasarkan rumusan tersebut, pusat massa sistem partikel hanya bergantung pada massa partikel yang ada dan posisi relatif antar partikel tersebut. Strategi untuk menyederhanakan masalah pusat massa diantaranya:

1. Manfaatkan simetri dari benda baik simetri titik, garis atau bidang.
2. Jika benda dapat dibagi menjadi beberapa bagian, perlakukan masing-masing bagian sebagai sebuah partikel yang terletak di pusat massa masing-masing bagian
3. Pilih sumbu dengan bijak; jika sistem adalah kelompok partikel, pilih salah satu partikel sebagai titik asal. Jika sistem adalah benda dengan garis simetris, jadikan itu sebagai sumbu x atau y

Pada dimensi satu, pusat massa bisa menggunakan variabel panjang suatu garis, dan luasan sebuah kurva tertentu. Penerapan hukum II Newton dalam menentukan pusat massa dalam gerakan sebuah sistem partikel. Pusat massa untuk sebuah sistem partikel berhubungan langsung dengan gaya total yang bekerja pada sistem sebagai satu kesatuan.

Momentum Linear



Gambar 10.2
Kecelakaan truk dan mobil
Sumber : www.news.detik.com

Pada gambar di atas, ada yang terjadi Ketika dua kendaraan tersebut bertabrakan? Kondisi mobil dan truk hancur berantakan. Kalau kita tinjau dari ilmu fisika, dampak hancur tidaknya kendaraan tersebut setelah bertabrakan ditentukan oleh momentum kendaraan tersebut.

Dalam ilmu fisika terdapat istilah momentum linear atau yang biasa kita sebut momentum. Momentum linear merupakan momentum yang dimiliki oleh benda yang bergerak pada lintasan lurus. Kajian suatu benda atau partikel tidak hanya sekedar gerak, gaya, kerja dan energi saja, namun interaksi antar benda dan dengan lingkungan semakin kompleks. Benda yang memiliki massa lebih besar memiliki momentum yang besar dan dibutuhkan gaya yang besar untuk menggerakkan maupun menghentikannya.

Momentum merupakan hasil kali massa dan kecepatan. Momentum merupakan derivasi dari hukum II Newton, yang menyatakan bahwa laju perubahan momentum partikel sama dengan gaya total yang bekerja pada benda atau partikel dan berada di arah gaya tersebut. Momentum merupakan besaran vektor, yaitu memiliki nilai dan arah sehingga dapat dituliskan:

$$\frac{d\vec{\rho}}{dt} = \vec{F}$$

$$\vec{F} = m \cdot \mathbf{a}, \quad \vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{F} \cdot dt = m \cdot d\vec{v} \text{ sehingga } \vec{\rho} = m \cdot d\vec{v}$$

Sehingga dari konsep tersebut, maka kendaraan yang memiliki massa yang lebih besar jika bergerak dengan kecepatan tinggi, maka bus tersebut memiliki momentum yang besar dan terkadang tidak dapat dikendalikan. Sehingga momentum benda dirumuskan sebagai

$$\vec{\rho} = m \cdot \mathbf{v} \dots\dots\dots(10.1)$$

ρ = momentum (kg m/s)

m = massa (kg)

v = kecepatan (m/s)

Hukum Kekelan Momentum

Sebuah gaya diperlukan untuk mengubah momentum dari sebuah partikel, baik besar maupun arahnya. Pernyataan newton dari persamaan gerak kedua dapat ditafsirkan dalam Bahasa momentum sebagai berikut: “Laju perubahan momentum dari sebuah partikel

sebanding dengan gaya resultan yang bekerja padanya". Secara matematis ditulis;

$$\sum \bar{F} = \frac{\Delta \bar{p}}{\Delta t} \dots\dots\dots(10.2)$$

Dengan $\sum \bar{F}$ adalah gaya total yang bekerja pada objek dan $\Delta \rho$ adalah perubahan momentum resultan yang terjadi selama selang waktu Δt . jika system terdiri dari sebuah partikel dengan massa m konstan, maka dengan memasukan persamaan (10.1) ke persamaan (2) kita dapatkan bentuk hukum newton seperti ini.

$$\sum \bar{F} = \frac{\Delta \bar{p}}{\Delta t} = \frac{(m\bar{v} - m\bar{v}_0)}{\Delta t} = \frac{m(\bar{v} - \bar{v}_0)}{\Delta t} = m \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = m\bar{a}$$

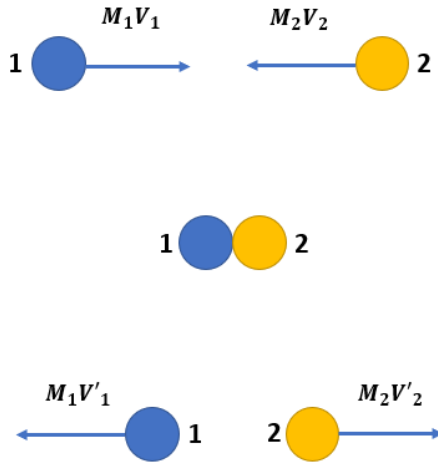
Dikarenakan $\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}$

Pada system banyak partikel yang terdiri dari n partikel dengan massa masing-masing m_1, m_2, \dots, m_n , sistem secara keseluruhan memiliki momentum total $\Delta \rho$. Momentum total didefinisikan sebagai jumlah vector semua momentum partikel dalam kerangka acuan yang sama, yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta \rho &= \bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2 + \dots + \bar{\rho}_n \\ &= m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 + \dots + m_n \bar{v}_n \dots\dots\dots(10.3) \end{aligned}$$

Dengan \bar{v}_1 adalah kecepatan m_1 , Dengan \bar{v}_2 adalah kecepatan m_2 , dan Dengan \bar{v}_n adalah kecepatan m_n .

Prinsip kekekalan momentum adalah prinsip dari hukum kekekalan energi dan konsep bahwa jumlah momentum dari dua benda yang bertumbukan adalah konstan. Contohnya adalah tumbukan dua buah bola billiard seperti gambar 10.3 di bawah ini,

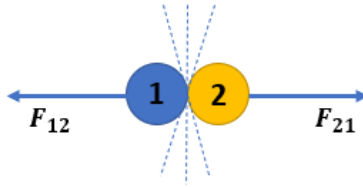


Gambar 10.3
Momentum kekal pada tumbukan dua bola

Andaikan gaya eksternal total pada sistem ini adalah nol. Maka jumlah momentum awal sebelum dan sesudah jumlahnya adalah sama. Jika $m_1\bar{v}_1$ adalah momentum bola 1 dan $m_2\bar{v}_2$ adalah momentum dari bola 2, keduanya diukur sebelum tumbukan, maka momentum total kedua bola sebelum tumbukan adalah $m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2$. Setelah tumbukan, tiap-tiap bola mempunyai kecepatan dan momentum yang berbeda, yakni $m_1\bar{v}'_1$ dan $m_2\bar{v}'_2$. Momentum total setelah tumbukan adalah $m_1\bar{v}'_1 + m_2\bar{v}'_2$. Dengan demikian, tanpa gaya eksternal berlaku:

$$m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2 = m_1\bar{v}'_1 + m_2\bar{v}'_2 \quad \dots\dots\dots (10.4)$$

Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa “pada peristiwa tumbukan, jumlah momentum benda-benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah tetap, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda tersebut”. Sehingga gaya-gaya yang terjadi pada bola selama tumbukan seperti gambar 10.4 di bawah ini.



Gambar 10.4
Gaya-gaya pada bola selama tumbukan

Meskipun prinsip kekekalan momentum ditemukan secara eksperimen namun kita dapat juga menurunkannya dari hukum Newton. Dari gambar 10.1, anggap F terdapat pada satu bola dan mendorong bola lain selama tumbukan. Gaya rata-rata selama waktu tumbukan Δt diberikan oleh :

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Atau $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$
(10.5)

Jika persamaan (10.5) diterapkan pada bola Gambar 10.1 dengan mengambil \vec{v}_1 adalah kecepatan bola 1 sebelum tumbukan dan \vec{v}'_1 , adalah kecepatan sesudah tumbukan, maka;

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1$$

Dalam hubungan ini \vec{F} adalah gaya pada bola 1 mendorong bola 2, dan Δt adalah waktu kontak kedua bola selama tumbukan. Sesuai dengan hukum Newton ketiga, gaya pada bola 2 terhadap bola 1 adalah $-\vec{F}$, sehingga ditulis;

Impuls dan Momentum



Gambar 10.5
Palu dan paku
Sumber : www.kompasiana.com

Pernahkan kalian memasang paku menggunakan palu?

Coba kalian lakukan percobaan impuls dan momentum berikut, pukul paku dengan menggunakan palu. Coba amati adakah perbedaan, Ketika paku dipukul palu dengan cepat (waktu kontak antara palu dengan paku yang dipukul sangat singkat) atau Ketika dipukul lambat (waktu kontak antara palu dan paku yang dipukul lebih lambat). Kalau dilakukan dengan benar (besar gaya sama), maka paku akan tertanam lebih dalam Ketika paku dipukul dengan cepat dibandingkan dengan paku yang dipukul lambat. Ketika palu dipukul ke paku, palu dan paku saling bersentuhan, dalam hal ini saling bertumbukan.

Ketika terjadi tumbukan, gaya meningkat dari nol pada saat terjadi kontak dan menjadi nilai yang sangat besar dalam waktu yang sangat singkat. Setelah turun secara drastis menjadi nol kembali. Ini yang membuat paku tertanam lebih dalam Ketika dipukul palu sangat cepat (waktu kontak antara paku dan palu sangat singkat).

Suatu peristiwa tabrakan, tumbukan terjadi pada selang waktu tertentu, gaya tumbukan pada selang tertentu disebut dengan impuls. Gaya yang bekerja selama tumbukan menyebabkan perubahan momentum dan hal tersebut dikenal dengan impuls. Konsep impuls terutama membantu dalam menganalisis gaya yang bekerja pada benda dalam waktu yang

sangat singkat. Gaya-gaya yang berubah terhadap waktu menyebabkan perubahan momentum pada benda. Dalam peristiwa tumbukan atau tabrakan, gaya eksternal benda bersifat singkat, nilai yang besar dan secara tiba-tiba mengubah momentum benda.

$$I = F \cdot \Delta t$$

$$I = \text{impuls (N.s)}, F = \text{gaya (N)}, \Delta t = \text{selang waktu (s)}$$

Tumbukan

Pada dasarnya orang memahami tumbukan (tabrakan) merupakan suatu peristiwa ketika suatu benda-benda yang memiliki kecepatan tertentu saling bertabrakan, salah satu contohnya adalah tabrakan antara dua mobil (kecelakaan lalu lintas). Dalam fisika tumbukan diartikan lebih luas yaitu interaksi yang melibatkan gaya-gaya yang besar antara dua benda dalam waktu yang singkat. Contohnya yaitu bola biliar yang saling menumbuk di atas meja biliar, bola bowling yang menghantam pin-pinnya, peluru yang menghantam bandul balistik, bola yang disepak pemain bola, tumbukan antar meteor di ruang angkasa dsb.

Jika gaya-gaya interaksi antara benda yang bertumbukan lebih besar dibandingkan dengan gaya luar, kita dapat mengabaikan gaya luar ini dan mengatakan bahwa sistem benda yang bertumbukan adalah terisolasi dari lingkungannya. Dalam keadaan ini berlaku hukum kekekalan momentum, yaitu momentum total sistem sebelum tumbukan sama dengan momentum total sistem. Peristiwa atau fenomena tumbukan atau tabrakan ini dapat dibedakan berdasarkan tingkat kelentingan yang ditunjukkan dengan *koefisien restitusi (e)*.

Tumbukan Lenting Sempurna

Tumbukan lenting sempurna (elastis), merupakan tumbukan antara dua benda atau beberapa objek dalam sistem, dimana energi kinetik sistem tidak berubah karena tumbukan. Energi kinetik sistem sebelum dan setelah tumbukan adalah sama, stabil, konstan atau tetap, namun demikian energi kinetik dari setiap benda yang bertumbukan dapat berubah. Dalam kasus ini berlaku hukum kekekalan energi dan momentum. Contoh tumbukan lenting sempurna yaitu tumbukan bola-bola biliar seperti gambar di bawah ini.



Gambar 10.6
Tumbukan bola-bola biliar
sumber : [www https://profmikra.org/?p=2036](https://profmikra.org/?p=2036)

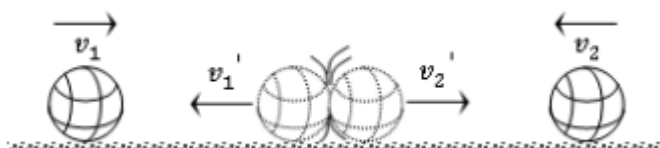
Secara matematis dapat diuraikan sebagai berikut;

$$Ek_1 + Ek_2 = \text{konstan}$$

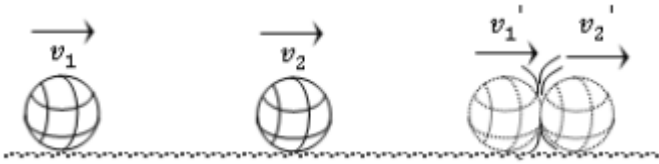
$$\rho_1 + \rho_2 = \rho_1' + \rho_2'$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

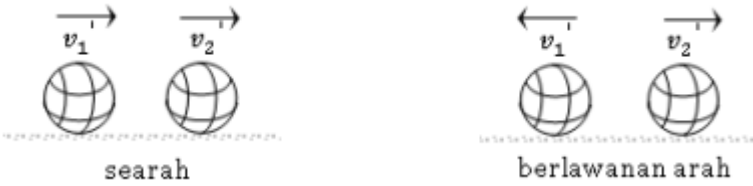
Pada tumbukan lenting sempurna memiliki kelentingan (elastisitas) sama dengan satu, yang ditunjukkan dengan koefisiensi restitusi ($e=1$).



Dua buah bola bergerak dari arah berlawanan, atau searah atau salah satu bola dalam keadaan diam $v=0$, kemudian saling bertumbukan dan setelah bertumbukan kedua bola bergerak searah Bersama-sama namun tidak saling bergabung atau bergerak berlawanan arah dari arah semula. Kemungkinan arah kedua bola setelah mengalami tumbukan adalah bergerak searah atau berlawanan arah. Dua bola bergerak searah, kemudian mengalami tumbukan lenting sempurna, seperti pada gambar berikut:

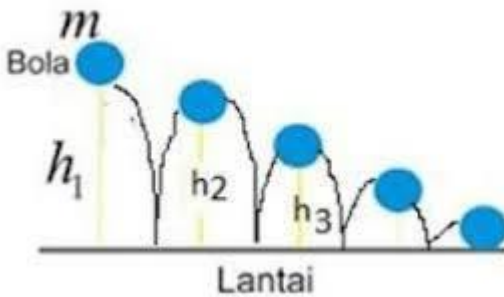


Kemungkinan gerak dua bola setelah tumbukan adalah sebagai berikut:



Tumbukan Lenting Sebagian

Fenomena tumbukan antara dua benda yang banyak terjadi, yaitu tumbukan lenting Sebagian. Koefisien restitusi berkisar antara $0 < e < 1$, berlaku hukum kekekalan momentum, dan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Pada tumbukan lenting Sebagian, misalnya pantulan bola, yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu di atas lantai, kemudian memantul, maka koefisien restitusi dapat diketahui melalui akar perbandingan konfigurasi ketinggian setelah h_2 dan sebelum pantulan h_1 dan seterusnya.



Secara matematis dapat diuraikan sebagai berikut;

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

Tumbukan Tak Lenting

Tumbukan tak lenting atau tumbukan tak elastis merupakan tumbukan antara dua benda, dimana energi kinetic total system sebelum dan setelah tumbukan adalah tidak sama. Sejumlah energi ditransfer, mengalir atau berubah bentuk menjadi energi panas atau suara. Dengan kata lain terjadi pengurangan energi kinetic, sehingga tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetic. Misalnya benturan antara bola baseball dan tongkat pemukul.

Dalam peristiwa tabrakan atau tumbukan, sering kita temukan dua benda bertumbukan dan bergabung, Bersatu atau dua benda menjadi satu setelah tumbukan. Pada kondisi tersebut, massa benda-benda digabungkan dan kecepatan keduanya dianggap sama.

$$v_1' + v_2' = v' \text{ atau } v_1' - v_2' = 0$$

Koefisien restitusi untuk tumbukan tak lenting adalah nol:

$$e = -\frac{(v_1' - v_2')}{(v_1 - v_2)} = 0$$

Daftar Pustaka

- Resnick, H. d. (1991). *Fisika Jilid I (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Surya, Y. (2015, Juli 10). *Yumpu*. Retrieved from Main Balet Pakai Fisika Yuuk:
https://www.google.com/search?q=yohannes+fisika+ballerina&source=lmns&bih=876&biw=1821&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjrw83m6YD-AhWMJLcAHS0YCQAQ_AUoAHoECAEQAA
- Tipler, P. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

Profil Penulis



Sri Mayanty, M.Pd

Lahir di Tasikmalaya, kelahiran tahun 1990. Anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis memulai Pendidikan di SDN Kiarajungkung I Kabupaten Tasikmalaya, melanjutkan ke SMP Negeri 1 Rajapolah Kabupaten Tasikmalaya, melanjutkan Kembali ke SMA Negeri 6 Tasikmalaya di Kota Tasikmalaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi Pendidikan fisika Universitas Pendidikan Indonesia pada tahun 2012. Tiga tahun kemudian, penulis menyelesaikan studi S2 di prodi Pendidikan fisika Universitas Negeri Jakarta pada tahun 2018. Kegiatan penulis saat ini adalah mengajar di salah satu Perguruan Tinggi Swasta yaitu Universitas Indraprasta PGRI Jakarta selain itu juga penulis disibukan mengurus 3 anaknya yaitu 2 perempuan dan 1 laki-laki. Hobi sejak dulu menulis namun belum sempat tersalurkan, semoga dengan mulai menulis ini jadi memacu diri untuk terus belajar menulis dan bisa menghasilkan karya yang mudah-mudahan bisa bermanfaat khususnya bagi diri sendiri dan umumnya bagi orang banyak.

Email Penulis: mayantysri@gmail.com

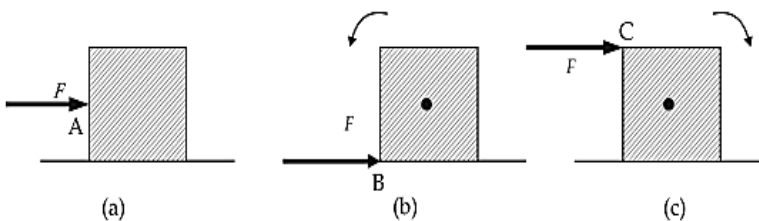
Febri Rismaningsih
Universitas Islam Syekh-Yusuf

Pengertian Dinamika Rotasi

Dinamika rotasi yaitu ilmu yang mempelajari tentang gerak rotasi atau berputar dengan memperhatikan aspek penyebabnya yaitu momen gaya. Momen gaya atau yang lebih dikenal dengan torsi ini akan menyebabkan terjadinya percepatan sudut. Suatu benda dikatakan melakukan gerak rotasi jika semua bagian benda bergerak mengelilingi poros atau sumbu putar. Sumbu putar terletak pada salah satu bagian dari benda tersebut (Juanda & Firdaus, 2019). Benda dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan bila resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut nol, tetapi ada benda yang berotasi dengan percepatan angular konstan, padahal resultan gaya yang bekerja pada benda adalah nol (Cari, 2009).

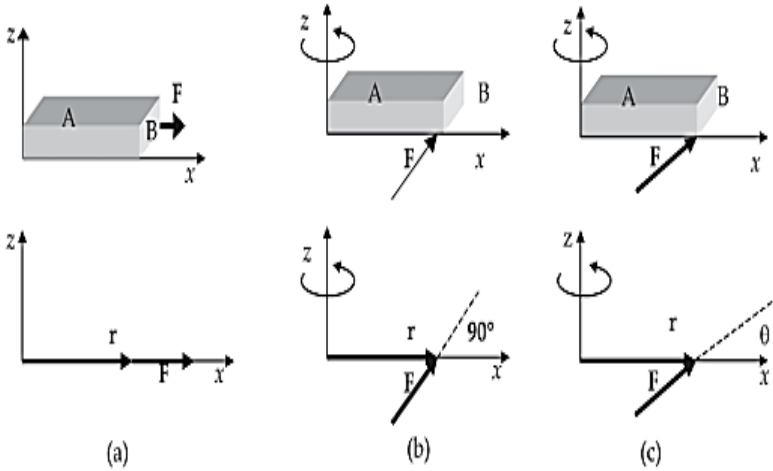
Momen Gaya/Torsi

Momen gaya atau torsi berasal dari bahasa latin yaitu *torquere* yang artinya memutar. Torsi (τ) merupakan besaran vektor yang mengakibatkan benda berotasi atau berputar.



Gambar 11.1 (a) Sebuah balok diberi gaya F , benda akan bertranslasi, jika balok di bagian tengah dipaku sehingga balok tidak dapat bertranslasi tapi dapat berotasi, (b) bila gaya diberikan pada sudut B benda akan berotasi, dengan arah berbeda dengan (b), (c) begitu juga bila diberikan pada sudut C . Sumber: (Palupi et al., 2013)

Besarnya torsi tergantung pada gaya yang dikeluarkan serta jarak antara sumbu putaran dan letak gaya. Jika ditinjau sebuah batang dengan salah satu ujungnya berupa engsel tetapi masih bisa bergerak memutar. Misalnya ujung yang dipatri adalah ujung yang diletakkan di titik (0,0,0) dan ujung satunya merupakan ujung yang bebas adalah ujung satunya. Batang diletakkan pada sumbu x .



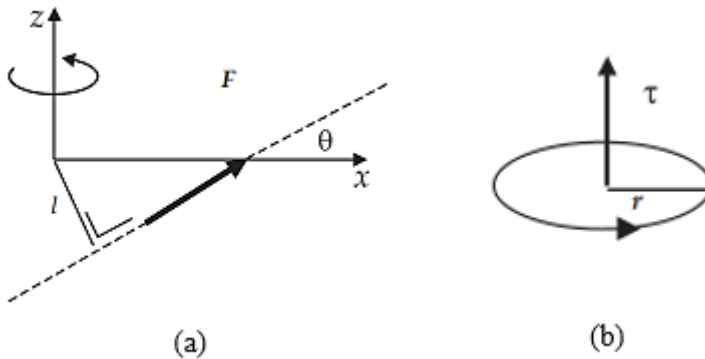
Gambar 11.2 Benda dengan salah satu ujungnya berupa engsel sehingga tidak dapat bertranslasi tapi bisa berotasi. Diberi gaya dengan berbagai arah. Ditunjukkan juga skema gaya dan posisinya. **(a)** arah r sejajar dengan arah F , **(b)** arah r tegak lurus dengan arah F , **(c)** arah r membentuk sudut θ terhadap F . Sumber: (Palupi et al., 2013)

Torsi adalah hasil perkalian silang antara vektor posisi r dengan gaya F , dapat dituliskan:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \tag{11.1}$$

Besarnya torsi adalah:

$$\tau = rF \sin \theta \tag{11.2}$$



Gambar 11.3 (a) Besarnya torsi tergantung pada besar gaya dan lengan gaya. Besar lengan gaya l tergantung pada sudut antar vektor r dan F . Arah torsi kearah sumbu y positif, besar l adalah $r \sin \theta$, (b) Putaran tangan kanan.
 Sumber: (Palupi et al., 2013)

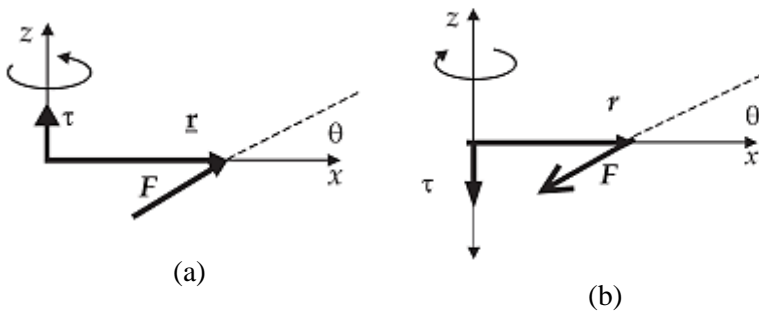
Pada batang di atas vektor r adalah vektor yang berawal di ujung batang yang dipatri dan berujung atau berarah di ujung yang lainnya. Bila gaya tegak lurus maka $\theta = 90$ sehingga nilai $\sin \theta = 1$. Torsi yang dilakukan pada batang maksimal. Bila \vec{F} sejajar dengan \vec{r} , maka nilai $\sin \theta = 0$ sehingga besarnya torsi 0 dan batang tidak berotasi. Besarnya torsi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau = lF \tag{11.3}$$

Dengan $l = r \sin \theta$

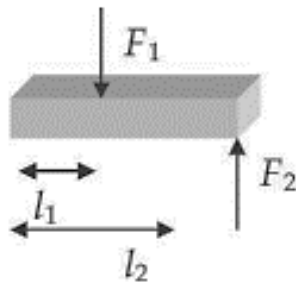
Lengan torsi ditunjukkan oleh l . Lengan torsi sebuah gaya didefinisikan sebagai Panjang garis yang ditarik di titik sumbu rotasi sampai memotong tegak lurus garis kerja gaya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar (11.3a).

Jika arah putaran berlawanan dengan arah jarum jam maka arah torsi ke atas, dan bila arah putaran searah dengan arah putaran jarum jam maka arah torsi ke bawah. Hal ini dapat terlihat dengan sebuah sistem koordinat. Bila batang terletak pada sumbu x dan pangkal vektor r di titik $(0,0,0)$. Gaya pada arah sumbu y positif batang akan berputar melawan arah jarum jam, arah torsi ke arah sumbu z positif. Sebaliknya bila arah gaya ke arah sumbu y negatif, putaran batang berlawanan dengan arah jarum jam, arah torsi ke sumbu z negatif. Jika arah gaya tidak tepat pada arah sumbu y tetapi membentuk sudut θ terhadap sumbu x , maka arah torsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.4.



Gambar 11.4 Arah torsi untuk F berarah sembarang. Arah sumbu y positif adalah arah masuk bidang datar. (a) torsi memiliki arah ke sumbu z positif, tetapi arah putarannya berlawanan arah dengan arah jarum jam, (b) arah torsi ke sumbu z negatif, arah putarannya searah dengan arah jarum jam.

Sumber: (Palupi et al., 2013)



Gambar 11.5 Pada batang dengan titik tumpu pada ujung kiri batang, ada dua gaya yang bekerja pada batang. Sumber: (Palupi et al., 2013)

Jika pada benda bekerja lebih dari 1 torsi maka torsi total adalah jumlahan dari seluruh torsi yang bekerja. Pada Gambar 11.5 gaya F_1 akan menyebabkan batang berputar searah dengan jarum jam, gaya F_2 akan menyebabkan benda berputar berlawanan arah dengan arah jarum jam. Torsi total adalah jumlah kedua torsi tersebut.

$$\sum \tau = \tau_1 - \tau_2 = l_1 F_1 - l_2 F_2 \quad (11.4)$$

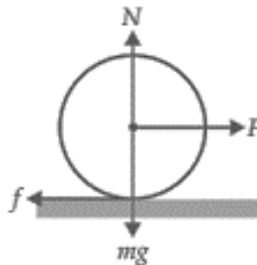
Gerak Menggelinding

Gerak menggelinding berbeda dengan gerak rotasi. Suatu benda dikatakan berotasi bila benda tersebut berputar pada satu titik dan tidak mengalami perpindahan tempat, sedangkan benda akan dikatakan bergerak menggelinding bila berputar pada satu titik sumbu putar

namun juga mengalami perpindahan tempat. Akibatnya benda yang menggelinding akan memiliki jarak tempuh selama berotasi, contohnya: jarum jam yang berputar merupakan gerak rotasi, sedangkan roda pada kendaraan yang bergerak mengalami gerak menggelinding (Panuluh, 2022).

Bola yang menggelinding di atas bidang akan mengalami dua gerakan sekaligus, yaitu rotasi terhadap sumbu bola dan translasi bidang yang dilalui. Oleh karena itu, benda yang melakukan gerak menggelinding memiliki persamaan rotasi ($\sum \tau = I \times \alpha$) dan persamaan translasi ($\sum F = m \times a$). Besarnya energi kinetik yang dimiliki benda menggelinding adalah jumlah energi kinetik rotasi dan energi kinetik translasi.

a. Menggelinding pada Bidang Datar



Gambar 11.6 Benda menggelinding pada bidang datar horizontal
Sumber: (Nurachmandani, 2007)

Gambar 11.6 menunjukkan sebuah silinder pejal bermassa m dan berjari-jari R menggelinding sepanjang bidang datar horizontal. Pada silinder diberikan gaya sebesar F . Jika silinder bergulir tanpa selip, maka silinder tersebut bergerak secara translasi dan rotasi. Pada kedua macam gerak tersebut berlaku persamaan-persamaan berikut:

- Untuk gerak translasi berlaku persamaan:

$$F - f = ma \text{ dan } N - mg = 0 \tag{11.5}$$

- Untuk gerak rotasi berlaku persamaan:

$$\tau = I \times \alpha \tag{11.6}$$

Karena silinder bergulir tanpa selip, maka harus ada gaya gesekan. Besarnya gaya gesekan pada sistem ini adalah sebagai berikut:

$$I\alpha = fR \leftrightarrow f = \frac{I\alpha}{R} \tag{11.7}$$

Jika $\alpha = \frac{a}{R}$, maka $f = \frac{I}{R} \left(\frac{a}{R} \right) = I \left(\frac{a}{R^2} \right)$

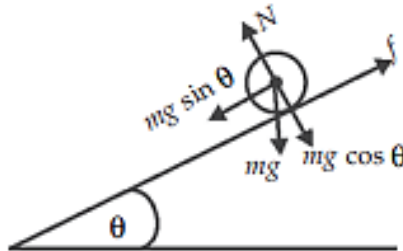
Jika disubstitusikan ke dalam persamaan $F - f = ma$, maka persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned} F - I \left(\frac{a}{R^2} \right) &= ma \\ F &= \left(m + \frac{I}{R^2} \right) a \\ a &= \frac{F}{m + \frac{I}{R^2}} \end{aligned} \quad (11.8)$$

Karena $I = \frac{1}{2} mR^2$ maka:

$$a = \frac{F}{m + \frac{1}{2} mR^2 / R^2} = \frac{F}{m + \frac{1}{2} m} = \frac{2F}{3m} \quad (11.9)$$

b. Menggelinding pada Bidang Miring



Gambar 11.7 Benda menggelinding pada bidang miring

Sumber: (Nurachmandani, 2007)

Gerak translasi diperoleh dengan mengasumsikan semua gaya luar bekerja di pusat massa silinder (Rismaningsih et al., 2022). Menurut Hukum Newton:

- Persamaan gerak dalam arah normal adalah

$$N - mg \cos \theta = 0 \quad (11.10)$$

- Persamaan gerak sepanjang bidang miring adalah

$$mg \sin \theta - f = ma \quad (11.12)$$

- Gerak rotasi terhadap pusat massanya $\tau = I \times \alpha$

Gaya normal N dan gaya berat mg tidak dapat menimbulkan rotasi terhadap titik O . Hal ini disebabkan garis kerja gaya melalui titik O , sehingga lengan momennya sama dengan nol. Persamaan yang berlaku yaitu:

$$\begin{aligned}
 mg \sin \theta - f &= ma \\
 mg \sin \theta - I \left(\frac{a}{R^2} \right) &= ma \\
 \frac{a}{R^2} + ma &= mg \sin \theta \\
 \left(\frac{a}{R^2} + m \right) a &= mg \sin \theta \\
 a &= \frac{mg \sin \theta}{\frac{I}{R^2} + m}
 \end{aligned} \tag{11.13}$$

Karena $I = \frac{1}{2}mR^2$ maka persamaannya menjadi seperti berikut:

$$a = \frac{mg \sin \theta}{\frac{1}{2}m + m} = \frac{2}{3}g \sin \theta \tag{11.14}$$

Misalkan selisih tinggi vertikal puncak bidang miring dengan dasarnya adalah h meter. Besarnya perubahan tenaga potensial gravitasi menjadi tenaga kinetik yang dialami benda adalah:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega &= mgh \\
 \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I \left(\frac{v}{R} \right) &= mgh \\
 \frac{1}{2}v^2 \left(m + \frac{1}{R^2} \right) &= mgh \\
 v^2 &= \frac{2mgh}{\left(m + \frac{1}{R^2} \right)} \\
 v^2 &= \frac{2mgh}{(m + km)} \\
 v^2 &= \frac{2gh}{(1 + k)}
 \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan benda di dasar bidang miring setelah menggelinding yaitu:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + k}} \tag{11.15}$$

Keterangan:

k adalah bilangan real yang diperoleh dari rumus inersia benda. Misalkan untuk:

- Silinder pejal : $I = \frac{1}{2} mR^2 \rightarrow k = \frac{1}{2}$
- Bola pejal : $I = \frac{1}{2} mR^2 \rightarrow k = \frac{2}{5}$
- Bola berongga: $I = \frac{1}{2} mR^2 \rightarrow k = \frac{2}{5}$

Misalkan, untuk bola pejal ($k = \frac{2}{5}$), maka nilai v yaitu:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1+k}} = \sqrt{\frac{10gh}{7}} = \sqrt{\frac{(5)2gh}{5+2}} = \sqrt{\frac{10gh}{7}} \quad (11.16)$$

Energi Kinetik Rotasi

Untuk menentukan energi kinetik sebuah benda yang berotasi terhadap sumbu tetap, dapat digunakan asumsi mengenai benda tegar yang berotasi yaitu semua partikel penyusun benda tegar mempunyai kecepatan anguler yang sama sebesar ω . Maka besarnya energi kinetik sebuah partikel yang massanya m dan besar kecepatannya $v = r\omega$, di mana r adalah jarak dari partikel ke sumbu rotasi, adalah

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2 \quad (11.17)$$

Bila benda tegar yang berotasi terdiri dari n partikel, maka jumlah total energi kinetik benda tegar tersebut adalah jumlah energi kinetik dari semua partikel yang dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned} E_{k \text{ total}} &= \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2 + \frac{1}{2}m_4v_4^2 + \dots + \frac{1}{2}m_nv_n^2 \\ &= \frac{1}{2}m_1r_1^2\omega^2 + \frac{1}{2}m_2r_2^2\omega^2 + \frac{1}{2}m_3r_3^2\omega^2 + \frac{1}{2}m_4r_4^2\omega^2 + \dots \\ &\quad + \frac{1}{2}m_nr_n^2\omega^2 \\ E_{k \text{ total}} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_i r_i^2) \omega^2 \end{aligned} \quad (11.18)$$

Mengingat jumlah momen inersia dari masing-masing partikel yaitu $I = \sum_{i=1}^n (m_i r_i^2)$ sehingga diperoleh:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (11.19)$$

Di mana E_k adalah energi kinetik total benda dan I adalah momen inersia total benda terhadap sumbu tetap tersebut.

Seperti halnya pada gerak translasi bahwa gaya yang dikerjakan pada sebuah benda akan melakukan kerja yang menyebabkan terjadinya perubahan energi kinetik. Pada gerak rotasi yang disebabkan oleh torsi yang besarnya tetap, maka torsi tersebut akan melakukan kerja dan juga mengubah energi kinetik benda yang bergerak rotasi (Cari, 2009).

Translasi dan Rotasi Benda Tegar

Penyebab gerak translasi adalah gaya dan penyebab gerak rotasi adalah momen gaya. Kedua gerak tersebut dapat dideskripsikan menggunakan Hukum II Newton. Dari keadaan diam, sebuah benda bermassa m dapat memiliki percepatan \mathbf{a} karena pengaruh gaya \mathbf{F} . Secara matematis, menurut Hukum II Newton hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Demikian juga, dari keadaan diam, sebuah roda yang memiliki momen inersia I dapat memiliki percepatan sudut α karena pengaruh momen gaya $\boldsymbol{\tau}$. Menurut Hukum II Newton, hubungan besaran-besaran tersebut dalam dinamika gerak rotasi dapat dituliskan menjadi $\boldsymbol{\tau} = I\boldsymbol{\alpha}$.

Besaran gaya \mathbf{F} sebagai penyebab gerak translasi juga memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan besaran momen gaya $\boldsymbol{\tau}$ sebagai penyebab gerak rotasi yaitu $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{F}\mathbf{r}$. Jadi, Hukum Newton II juga berlaku dalam dinamika gerak rotasi.

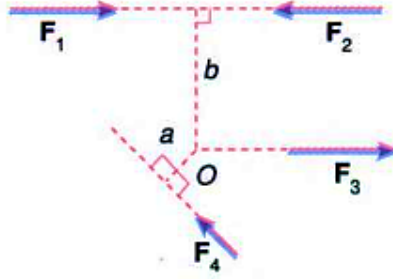
Tabel 11.1 Analogi hubungan antara persamaan gerak translasi benda tegar sepanjang garis lurus dan gerak rotasi mengelilingi sumbu rotasi (Halliday & Resnick, 2011).

Gerak Translasi		Gerak Rotasi		Hubungan
Jarak Linear	s	Jarak (posisi) Sudut	θ	$s = \theta R$

Gerak Translasi		Gerak Rotasi		Hubungan
Kecepatan Linear	$v = \frac{ds}{dt}$	Kecepatan Sudut	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	$v = \omega R$
Percepatan Tangensial	$a_t = \frac{dv}{dt}$	Percepatan Sudut	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	$a = \alpha R$
Kelembaman Translasi (massa)	m	Kelembaman rotasi benda tegar (momen inersia)	I	$I = \sum_{i=1}^N m_i R_i^2$
Gaya	$F = ma$	Torsi (momen gaya)	$\tau = I\alpha$	$\tau = Fr$
Energi Kinetik	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	Energi Kinetik	$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$	-
Momentum Linear	$p = mv$	Momentum Sudut	$L = I\omega$	-
Daya	$p = Fv$	Daya	$p = \tau\omega$	-

Soal dan Penyelesaian

1. Di sekitar titik O bekerja empat gaya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar di bawah ini. Tentukan lengan momen dan momen gaya dari masing-masing gaya!



Sumber: (Ruwanto, 2007)

Penyelesaian:

Lengan momen didefinisikan sebagai jarak tegak lurus yang ditarik dari sumbu putar sampai garis kerja gaya. Dengan demikian,

lengan momen F_1 adalah $l_1 = b$,

lengan momen F_2 adalah $l_2 = b$,

lengan momen F_3 adalah $l_3 = 0$, dan

lengan momen F_4 adalah $l_4 = a$.

Untuk menghitung besarnya momen gaya digunakan persamaan $\tau = Fl$ sehingga diperoleh:

momen gaya F_1 adalah $\tau_1 = F_1 l_1 = -F_1 b$ (searah dengan putaran jarum jam),

momen gaya F_2 adalah $\tau_2 = F_2 l_2 = +F_2 b$ (berlawanan arah dengan putaran jarum jam),

momen gaya F_3 adalah $\tau_3 = F_3 l_3 = F_3(0)$, dan

momen gaya F_4 adalah $\tau_4 = F_4 l_4 = -F_4 a$ (searah dengan putaran jarum jam).

2. Sebuah bola pejal bermassa 10 kg berjari-jari 70 cm menggelinding di atas bidang datar karena dikenai gaya 14 N. Tentukan momen inersia, percepatan tangensial tepi bola, percepatan sudut bola, gaya gesekan antara bola dan bidang datar, serta besarnya torsi yang memutar bola!

Penyelesaian:

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$R = 70 \text{ cm} = 0,7 \text{ m}$$

$$F = 14 \text{ N}$$

a. Karena bola pejal, maka

$$I = \left(\frac{2}{5}\right) mR^2 = \left(\frac{2}{5}\right) \times 10 \times (0,7)^2 = 1,96 \text{ kgm}^2$$

$$b. a = \frac{F}{m(1+k)} = \frac{14}{10\left(1+\frac{2}{5}\right)} = 1 \text{ m/s}^2$$

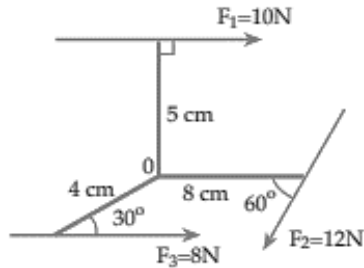
$$c. \alpha = \frac{a}{R} = \frac{1}{0,7} = \frac{10}{7} \text{ rad/s}^2$$

$$d. f_g = \frac{I\alpha}{R} = \frac{1,96 \times \frac{10}{7}}{0,7} = 4 \text{ N}$$

$$e. \tau = I\alpha = 1,96 \times \frac{10}{7} = 2,8 \text{ N}$$

Latihan Soal

1. Pada titik O bekerja 3 buah momen gaya sebidang dengan besar dan arah seperti tampak pada gambar. Tentukan momen gaya resultan dari ketiga momen gaya tersebut terhadap titik O !



Sumber: (Widodo, 2009)

2. Sebuah bola pejal bermassa 15 kg berjari-jari 10 cm menggelinding di atas bidang miring 37° . Jika gaya gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$, maka tentukanlah momen inersia bola, percepatan bola, percepatan sudut bola, gaya gesek antara bola dan lantai serta torsi memutar bola.

Daftar Pustaka

- Cari. (2009). *Panduan Pembelajaran Fisika* (I. Nugrahaningsih (ed.); 1st ed.). Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional. Bukupaket.com
- Halliday, D., & Resnick, R. (2011). *Fundamentals of Physics* (J. Walker (ed.); 9Th ed.). John Wiley & Sons, Inc. www.wileyplus.com
- Juanda, D. I., & Firdaus, M. (2019). Dinamika Rotasi dan Keseimbangan Benda Tegar. In *Direktorat Pembinaan SMA - Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan* (Issue 465).
- Nurachmandani, S. (2007). *Fisika 2 Untuk SMA/MA Kelas XI* (B. Wahyono (ed.); 1st ed.). Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Palupi, D. S., Suharyanto, & Karyono. (2013). Fisika Kelas 11 Jilid 2. In *CV. Sahabat* (2nd ed., Vol. 53, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2012.03.001>
- Panuluh, A. H. (2022). *Modul Belajar Mandiri Calon Guru Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)*.
- Rismaningsih, F., Widiyatun, F., & Sumarni, R. A. (2022). *Analysis of Rolling Motion to Obtain Moments of Inertia in a Compound Objects With Video-based Laboratory (VBL)*. 11(01), 20–27.
- Ruwanto, B. (2007). *Asas-asas Fisika 2B*. Yudhistira.
- Widodo, T. (2009). *Fisika Untuk SMA/MA* (W. Sunarno, A. S. Nugroho, Pandu, & B. S (eds.); 1st ed.). CV Mefi Caraka.

Profil Penulis



Febri Rismaningsih, S.Pd.Si., M.Sc.

Lahir di Bantul pada tanggal 16 Februari 1989. Menyelesaikan Pendidikan S1 jurusan Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Yogyakarta pada tahun 2010, kemudian melanjutkan Pendidikan S2 Ilmu Fisika di Universitas Gadjah Mada, diselesaikan pada tahun 2014. Sejak tahun 2016 hingga saat ini menjadi dosen tetap Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Syekh-Yusuf. Tangerang.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Pendidikan fisika dan metode geofisika elektromagnetik. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian didanai oleh internal perguruan tinggi maupun Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) seperti Program Kemitraan Masyarakat Stimulus pada tahun 2022. Penulis aktif menulis pada jurnal terakreditasi nasional kemenristek DIKTI maupun jurnal internasional. Beberapa karya yang telah dipublikasikan antara lain: Teori dan Aplikasi Fisika Dasar, Fisika Optik Umum dan Mata, Fisika Dasar Mekanika, Pengantar Statistika 1 dan lainnya. Pada tahun 2017, penulis terpilih sebagai peserta Magang Dosen Kemenristek DIKTI di Universitas Gadjah Mada dan di tahun yang sama, penulis mendapat penghargaan Best Poster pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi yang diselenggarakan oleh Universitas Muhammadiyah Jakarta. Saat ini penulis menjadi editor pada Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik (JIMTEK) serta reviewer pada Jurnal Kumpulan Artikel Pengabdian Masyarakat (KAPAS), Jurnal Ilmiah Citra Bakti dan Jurnal Natural Science. Dalam mengembangkan keilmuan, penulis juga menjalankan tugas sebagai Asesor Badan Akreditasi Nasional Sekolah/Madrasah Provinsi Banten Tahun 2021-2025.

Email Penulis: frismaningsih@unis.ac.id

KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

Jan Setiawan

Badan Riset dan Inovasi Nasional – Universitas Pamulang

Benda Tegar

Dalam pembahasan berbagai fenomena fisis seperti kecepatan dan percepatan, benda yang kompleks di mana bentuk dan ukurannya diabaikan dapat dimodelkan sebagai partikel. Berbeda dengan benda besar (*extended body*) di mana bentuk dan ukurannya tidak dapat diabaikan, ketika gaya luar bekerja pada benda seperti ini sangat memungkinkan terjadi deformasi pada benda tersebut (Knight, 2021; Halliday, Resnick & Walker, 2017). Pada benda besar yang mampu mempertahankan bentuk dan ukurannya ketika gaya luar bekerja padanya disebut sebagai benda tegar (*rigid body*) (Knight, 2021; Halliday, Resnick & Walker, 2017). Ketika membahas fenomena fisis pada benda yang mampu mempertahankan bentuk dan ukurannya, maka digunakan model benda tegar. Perlu diingat, tidak ada benda yang bersifat benda tegar sempurna. Dalam bab ini dibahas kesetimbangan yang terbatas pada benda tegar.

Kesetimbangan Benda Tegar

Kesetimbangan pada benda tegar merupakan kondisi di mana gaya total dan torsi total yang bekerja pada benda tersebut bernilai nol. Pada benda tegar terdapat dua jenis kesetimbangan, yaitu kesetimbangan translasi dan kesetimbangan rotasi (Urone & Hinrichs, 2012).

Kesetimbangan translasi merupakan kesetimbangan pada benda tegar di mana gaya total ($\sum \vec{F}$) yang bekerja bernilai nol (Halliday, Resnick & Walker, 2017; Urone & Hinrichs, 2012). Dengan demikian gaya yang bekerja pada benda setimbang dan benda dalam keadaan diam atau bergerak dengan kelajuan konstan. Kondisi kesetimbangan translasi diberikan oleh,

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (12.1)$$

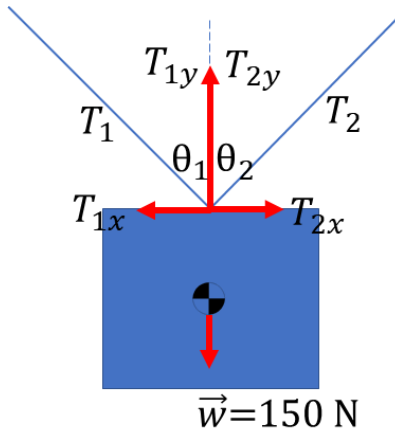
hal ini menunjukkan bahwa

$$\sum \vec{F}_x = 0 \quad (12.2)$$

$$\sum \vec{F}_y = 0 \quad (12.3)$$

Untuk benda dalam keadaan diam dikenal sebagai kesetimbangan statis (Halliday, Resnick & Walker, 2017; Knight, 2022), dan benda yang bergerak dengan kecepatan konstan dikenal sebagai kesetimbangan dinamis. Pada kesetimbangan statis syarat yang harus dipenuhi juga adalah momentum linier benda tegar yang bernilai nol.

Apabila sebuah balok dengan berat 150 N tergantung oleh dua tali yang membuat sudut sebesar 45° terhadap sumbu vertikal seperti pada Gambar 12.1, tentukan tegangan setiap talinya.



Gambar 12.1. Ilustrasi diagram gaya pada balok yang terikat oleh tali.

Dari Gambar 12.1 tali yang mengikat balok diberi label T_1 dan T_2 . Besaran gaya tegangannya dapat ditentukan sebagai berikut,

Untuk T_1

$$T_{1x} = -T_1 \sin \theta_1 = -T_1 \sin 45^\circ = -0,707T_1$$

$$T_{1y} = T_1 \cos \theta_1 = T_1 \cos 45^\circ = 0,707T_1$$

Untuk T_2

$$T_{2x} = T_2 \sin \theta_2 = T_2 \sin 45^\circ = 0,707T_2$$

$$T_{2y} = T_2 \cos \theta_2 = T_2 \cos 45^\circ = 0,707T_2$$

Berdasarkan persamaan 12.2,

$$\sum \vec{F}_x = 0 = T_{1x} + T_{2x}$$

$$T_{1x} + T_{2x} = -0,707T_1 + 0,707T_2 = 0$$

$$T_1 = T_2 = T$$

Sedangkan pada sumbu-y ditentukan berdasarkan persamaan 12.3.

$$\sum \vec{F}_y = 0 = T_{1y} + T_{2y} - \vec{w}$$

$$T_{1y} + T_{2y} - \vec{w} = 0,707T_1 + 0,707T_2 - 150 = 0$$

dengan melakukan substitusi $T_1 = T_2 = T$ diperoleh,

$$1,414T - 150 = 0$$

$$1,414T = 150$$

$$T = \frac{150}{1,414} = 106,082$$

Dengan demikian tegangan tiap tali sebesar 106,082 N.

Kesetimbangan rotasi merupakan kesetimbangan pada benda di mana total torsi ($\sum \vec{\tau}$) bernilai nol (Halliday, Resnick & Walker, 2017; Urone & Hinrichs, 2012). Dengan demikian torsi yang bekerja pada benda setimbang dan benda tidak mengalami rotasi terhadap pusat massa-nya. Kondisi kesetimbangan rotasi diberikan oleh,

$$\sum \vec{\tau} = 0 \tag{12.4}$$

Besar dari torsi dapat diberikan dengan persamaan (Urone & Hinrichs, 2012),

$$\tau = rF \sin \theta \tag{12.5}$$

Dengan demikian, syarat benda tegar berada dalam kondisi kesetimbangan adalah, jumlah total seluruh vektor gaya luar yang bekerja pada benda bernilai nol dan jumlah total seluruh vektor torsi luar

yang bekerja pada benda diukur pada titik yang memungkinkan harus bernilai nol (Halliday, Resnick & Walker, 2017; Urone & Hinrichs, 2012).

Apabila sebuah batang pejal dengan panjang 4 m diberi beban sebesar 150 N di satu ujungnya dan diujung lainnya diberi beban sebesar 100 N. Apabila berat dari batang pejal dapat diabaikan, tentukan titik kesetimbangan dari batang tersebut.

Agar batang berada dalam kondisi kesetimbangan rotasional harus memenuhi persamaan 12.4

$$\sum \vec{\tau} = 0$$

Ditentukan τ_1 merupakan torsi dari benda dengan beban 150 N yang ditempatkan sejauh x dari titik kesetimbangan. Kemudian τ_2 merupakan torsi dari benda dengan beban 100 N yang ditempatkan sejauh $4 - x$ dari titik kesetimbangan. Kesetimbangan rotasional dari sistem ini menjadi,

$$\sum \vec{\tau} = 0 = \tau_1 + \tau_2$$

Nilai τ_1 bernilai positif karena gerak rotasinya cenderung berlawanan arah jarum jam, sedangkan τ_2 bernilai negatif karena gerak rotasinya cenderung searah dengan jarum jam.

$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

$$150x - 100(4 - x) = 0$$

$$150x - 400 + 100x = 0$$

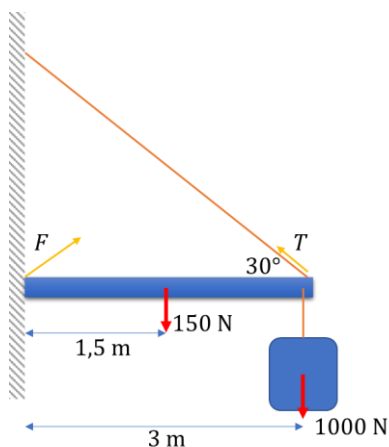
$$250x = 400$$

$$x = \frac{400}{250} = 1,6$$

Titik kesetimbangan pada batang sejauh 1,6 m dari benda dengan beban sebesar 150 N atau 2,4 m dari benda dengan beban sebesar 100 N.

Soal Latihan

1. Perhatikan Gambar 12.2 berikut ini,



Gambar 12.2 Ilustrasi gaya yang bekerja pada batang pejal yang terikat dan diberi beban.

- Tentukan besar tegangan tali T dan besar gaya yang menekan dinding.
2. Apabila sebuah batang pejal dengan panjang 3 m diberi beban sebesar 250 N di satu ujungnya dan diujung lainnya diberi beban sebesar 220 N. Apabila berat dari batang pejal dapat diabaikan, tentukan titik kesetimbangan dari batang tersebut?

Pusat Gravitasi

Pada bab sebelumnya sudah dikenalkan dengan istilah pusat massa, kali ini diberikan konsep mengenai pusat gravitasi (cg). Gaya gravitasi pada benda besar merupakan jumlah vektor gaya gravitasi yang bekerja pada setiap elemen individual (atom-atom) benda tersebut. Dengan kata lain, gaya gravitasi \vec{F}_g pada sebuah benda bekerja secara efektif pada satu titik yang dikenal dengan pusat gravitasi (*center of gravity*) dari benda yang disimbolkan oleh \blacksquare (Knight, 2021; Halliday, Resnick & Walker, 2017). Pusat gravitasi adalah titik di dalam suatu benda di mana gaya gravitasi bekerja. Sangat penting untuk menentukan pusat gravitasi suatu benda ketika merancang struktur atau kendaraan, karena ini adalah titik di mana berat benda bekerja. Pada saat gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda diwakili oleh gaya gravitasi \vec{F}_g di pusat gravitasi, total gaya dan total torsi di titik manapun pada benda tidak

akan mengalami perubahan. Hal ini diasumsikan bahwa gaya gravitasi \vec{F}_g bekerja pada pusat massa benda, sehingga dapat dianggap pusat gravitasi berada pada posisi yang sama dengan pusat massa. Dengan demikian untuk massa benda M , gaya \vec{F}_g sebanding dengan $M \cdot \vec{g}$, dengan \vec{g} merupakan percepatan gravitasi yang akan menghasilkan gaya ketika benda mengalami jatuh bebas. Dapat dikatakan bila \vec{g} bernilai sama di semua elemen individual pada benda, maka pusat gravitasi dari benda akan berada pada posisi yang sama dengan pusat massa dari benda tersebut (Halliday, Resnick & Walker, 2017). Untuk benda dalam kehidupan sehari-hari hal ini berlaku dengan baik dikarenakan nilai \vec{g} pada permukaan bumi relatif sama dan perubahannya terhadap ketinggianpun tidak banyak berubah. Apabila medan gravitasi tidak seragam, sangat dimungkinkan pusat gravitasi akan berbeda dengan pusat massa. Dalam medan gravitasi yang tidak seragam, pusat gravitasi akan lebih sulit untuk ditentukan. Pada dasarnya gaya gravitasi yang bekerja pada setiap elemen individual benda harus dipertimbangkan. Untuk pusat gravitasi dimana medan gravitasinya seragam dapat ditentukan sebagai berikut, apabila diketahui koordinat (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , dan seterusnya untuk partikel yang memiliki massa m_1 , m_2 , m_3 , dan seterusnya yang merupakan bagian dari benda tegar dengan massa M yang terdiri dari partikel yang diskret. Koordinat x dari pusat gravitasi adalah,

$$x_{cg} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{1}{M} \sum_i x_i m_i \quad (12.6)$$

Untuk koordinat y dari pusat gravitasi adalah,

$$y_{cg} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + y_3 m_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{1}{M} \sum_i y_i m_i \quad (12.7)$$

Dari persamaan 12.6 dan 12.7 terlihat pusat gravitasi dipengaruhi oleh total perkalian posisi dengan massa partikel, dengan demikian pusat gravitasi akan memiliki kecenderungan memiliki posisi ke arah partikel yang memiliki massa lebih besar (Knight, 2021; Kua, dkk., 2021; Halliday, Resnick & Walker, 2017; Sa'diyah, dkk., 2022). Untuk menentukan pusat gravitasi untuk benda besar dengan massa M dilakukan dengan membagi benda tersebut menjadi beberapa bagian kecil yang memiliki massa sangat kecil sebesar Δm . Apabila setiap bagian kecil tersebut diberi indeks 1,2,3, dan seterusnya, setiap massa dan koordinatnya akan memiliki indeks juga. Dengan demikian

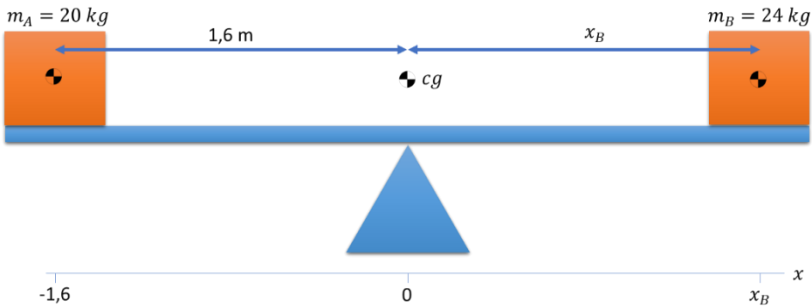
koordinat pusat gravitasi dapat ditentukan dengan persamaan 12.8 dan 12.9 (Knight, 2021),

$$x_{cg} = \frac{1}{M} \sum_i x_i \Delta m = \frac{1}{M} \int x \, dm \quad (12.8)$$

$$y_{cg} = \frac{1}{M} \sum_i y_i \Delta m = \frac{1}{M} \int y \, dm \quad (12.9)$$

Integrasi pada persamaan 12.8 dan 12.9 disempurnakan dengan mengubah dm menjadi bentuk terhadap dx atau dy .

Apabila diketahui benda A dan B pada suatu jungkat-jungkit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.3



Gambar 12.3. Ilustrasi kesetimbangan dan pusat gravitasi.

Dengan massa benda A dan B, serta jarak benda A ke titik pusat gravitasi yang diketahui. Tentukan jarak benda B ke titik pusat gravitasi di mana kondisi jungkat-jungkit tersebut berada dalam keadaan setimbang!

$$x_{cg} = \frac{x_A m_A + x_B m_B}{m_A + m_B} = 0$$

$$x_A m_A + x_B m_B = 0$$

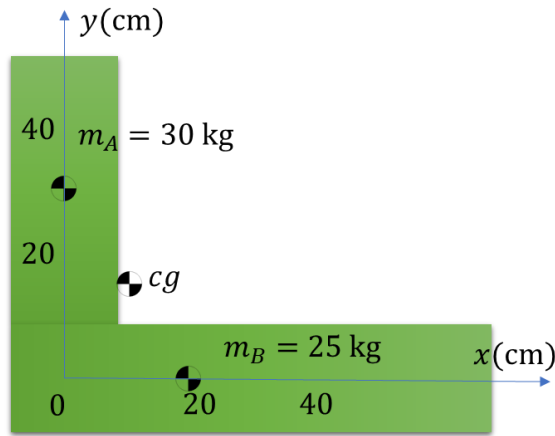
Posisi benda B adalah,

$$x_B m_B = -x_A m_A$$

$$x_B = -x_A \left(\frac{m_A}{m_B} \right) = -(-1,6) \left(\frac{20}{24} \right) = 1,33$$

Sehingga posisi dari benda B terhadap titik pusat gravitasi adalah $1,33\text{m}$.

Apabila diketahui dua benda A dan B seperti pada Gambar 12.4, tentukan pusat gravitasi gabungannya!



Gambar 12.4. Ilustrasi penentuan pusat gravitasi dari dua benda A dan B.

Dari Gambar 12.4 diketahui komponen dari benda A dan benda B sebagai berikut,

$$x_A = 0 \text{ cm}, y_A = 30 \text{ cm}, \text{ dan } m_A = 30 \text{ kg.}$$

$$x_B = 20 \text{ cm}, y_B = 0 \text{ cm}, \text{ dan } m_B = 25 \text{ kg}$$

Koordinat x_{cg} ditentukan sebagai berikut,

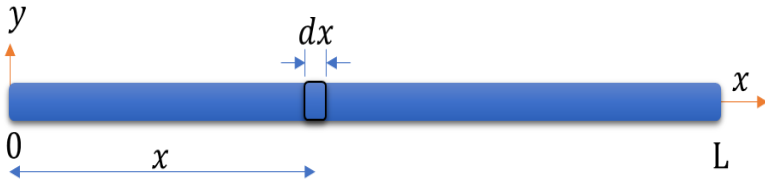
$$x_{cg} = \frac{x_A m_A + x_B m_B}{m_A + m_B} = \frac{0 \cdot 30 + 20 \cdot 25}{30 + 25} = \frac{500}{55} = 9,09$$

Diperoleh koordinat x_{cg} adalah 9,09 cm. Untuk koordinat y_{cg} ditentukan sebagai berikut,

$$y_{cg} = \frac{y_A m_A + y_B m_B}{m_A + m_B} = \frac{30 \cdot 30 + 0 \cdot 25}{30 + 25} = \frac{900}{55} = 16,36$$

Diperoleh koordinat y_{cg} adalah 16,36 cm.

Apabila diketahui sebuah batang pejal yang seragam dengan massa M dan memiliki panjang L, tentukan pusat gravitasinya.



Gambar 12.5. Ilustrasi batang pejal yang akan ditentukan pusat gravitasinya.

Dari Gambar 12.5 diketahui koordinat $y_{cg} = 0$. Untuk koordinat x_{cg} ditentukan menggunakan persamaan 12.8 berikut ini,

$$x_{cg} = \frac{1}{M} \int x \, dm$$

dengan dm ditentukan sebagai berikut,

$$\frac{dm}{M} = \frac{dx}{L}$$

sehingga diperoleh hubungan

$$dm = \frac{M}{L} dx.$$

Bentuk integrasi persamaan 12.8 disusun ulang menjadi,

$$x_{cg} = \frac{1}{M} \int x \, dm = \frac{1}{M} \int x \frac{M}{L} dx = \frac{1}{L} \int x \, dx$$

integrasi sepanjang batang pejal pada Gambar 12.3 adalah,

$$x_{cg} = \frac{1}{L} \int_0^L x \, dx = \frac{1}{L} \left[\frac{1}{2} x^2 \right]_0^L = \frac{1}{L} \left[\frac{L^2}{2} - 0 \right] = \frac{L}{2}$$

Diperoleh koordinat $x_{cg} = \frac{L}{2}$.

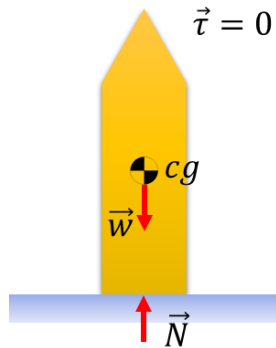
Soal Latihan

1. Apabila sebuah mobil mampu menanggung beban sebesar 1000 kg dan roda depannya terpisah sejauh 2,5 m dari roda belakangnya. Tentukan berapa besar yang mampu ditanggung oleh setiap rodanya apabila pusat gravitasinya terletak 1 m dari roda depan?
2. Apabila diketahui roda depan dari mobil mampu menanggung beban sebesar 15 kN, dan roda belakangnya sebesar 10 kN. Roda depan dengan roda belakang terpisah sejauh 5 m. Tentukan letak pusat gravitasi dari truk?

Kesetimbangan Benda Tegar dalam Medan Gravitasi

Kesetimbangan benda tegar dalam medan gravitasi merupakan keadaan di mana gaya gravitasi yang bekerja pada benda tegar atau sistem setimbang, dan benda tegar atau sistem tersebut tetap berada pada posisi yang stabil dan tidak bergerak (Kua, dkk., 2021; Sa'diyah, dkk., 2022; Urone & Hinrichs, 2012). Kesetimbangan benda tegar dalam medan gravitasi dapat dibagi sebagai berikut,

Kesetimbangan stabil. Kesetimbangan ini terjadi pada benda atau sistem yang bila mengalami sedikit pergeseran dari posisinya, maka benda atau sistem tersebut cenderung kembali ke posisi semula (Knight, 2021; Knight, 2022; Kua, dkk., 2021; Sa'diyah, dkk., 2022; Urone & Hinrichs, 2012). Ilustrasi dari kesetimbangan ini diberikan pada Gambar 12.6.

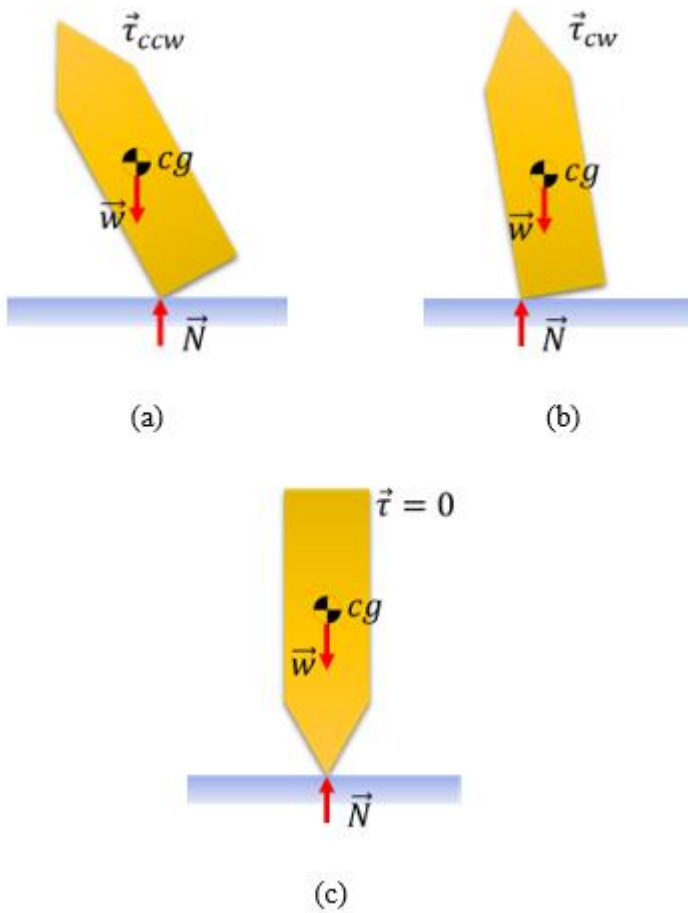


Gambar 12.6. Ilustrasi kesetimbangan stabil.

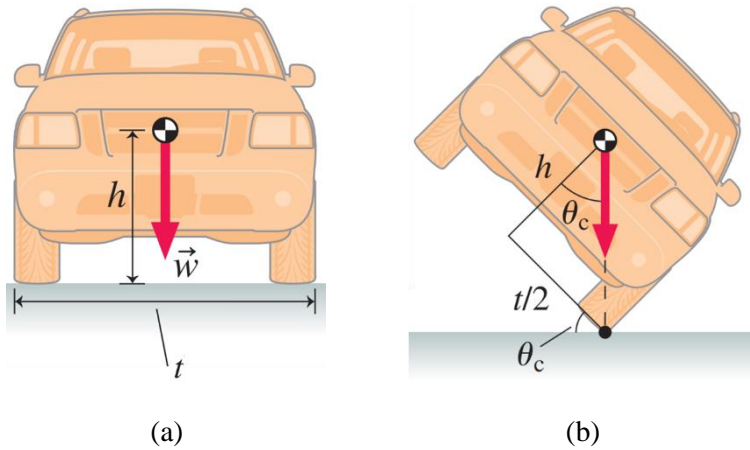
Benda pada Gambar 12.6 memiliki $\vec{\tau} = 0$, berarti berada dalam kondisi kesetimbangan rotasional. Bila ada gaya luar yang bekerja padanya dan kemudian gaya luar tersebut dihilangkan, maka benda tersebut akan segera kembali ke posisi semula. Ilustrasi lainnya apabila ada sebuah kelereng berada di dasar sebuah wadah berbentuk setengah bola. Bila kelereng ini diberi sedikit gangguan maka kelereng akan berubah posisinya dan ketika gangguan tersebut dihilangkan, sedemikian rupa sehingga kelereng tersebut akan Kembali ke posisi semula.

Kesetimbangan labil/tidak stabil. Pada kesetimbangan ini apabila benda atau sistem mengalami sedikit pergeseran dari posisinya, benda atau sistem akan semakin menjauh dari posisi semula (Knight, 2021; Knight, 2022; Kua, dkk., 2021; Sa'diyah, dkk., 2022; Urone & Hinrichs, 2012). Ilustrasi dari kesetimbangan ini diberikan pada Gambar 12.7.

Perbedaan posisi pusat gravitasi akan memberikan torsi dengan arah yang berbeda.



Gambar 12.7. Ilustrasi kesetimbangan labil dengan torsi (a) berlawanan arah jarum jam (b) searah jarum jam dan (c) bernilai nol.

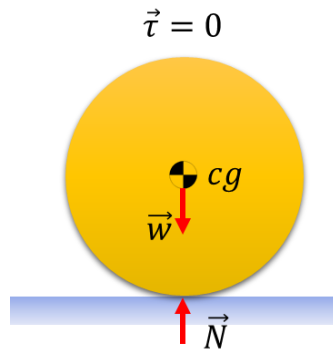


Gambar 12.8. Ilustrasi sudut kritis kesetimbangan labil mobil atau benda lainnya (Knight, 202).

Dari Gambar 12.7.a bila torsi tidak bernilai nol dan berlanjut membuat pusat gravitasi lebih jauh ke sisi kiri benda atau keluar dari bidang alas benda, maka akan membuat benda berotasi. Sedangkan pada Gambar 12.7.b bila torsi tidak bernilai nol dan membuat pusat gravitasi bergerak ke sisi bidang alas benda, maka torsi akibat dari gaya gravitasi yang membuat benda ke keadaan kesetimbangan stabil. Ilustrasi ini berlaku pada kendaraan seperti mobil yang melaju dalam kesetimbangan stabil atau kesetimbangan labil. Dari Gambar 12.8, diketahui jarak antar roda (t), ketinggian pusat gravitasi (h) dari permukaan tanah, dapat ditentukan sudut kritis (θ_c) yang menjadi batas torsi gravitasi akan membuat mobil berotasi. Sudut kritis (θ_c) dapat ditentukan sebagai,

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(\frac{0,5t}{h} \right) \quad (12.10)$$

Kesetimbangan netral. Kesetimbangan ini dikenal juga dengan kesetimbangan indeferen. Benda atau sistem dalam kesetimbangan ini, kesetimbangannya tidak bergantung pada posisi semulanya (Knight, 2021; Knight, 2022; Kua, dkk., 2021; Sa'diyah, dkk., 2022; Urone & Hinrichs, 2012). Ilustrasi dari kesetimbangan ini diberikan pada Gambar 12.9.



Gambar 12.8. Ilustrasi kesetimbangan netral.

Kesetimbangan ini memungkinkan terjadi perubahan posisi dari posisi semula, namun pusat gravitasi benda atau sistem tidak mengalami perubahan.

Soal Latihan

1. Apabila diketahui sebuah truk dengan jarak antar rodanya sebuah truk sejauh 1,4 m, dan tinggi pusat gravitasi dari tanah sebesar 1,0 m. Tentukanlah sudut kritis dari truk tersebut?
2. Agar sebuah mobil memiliki sudut kritis sebesar 40° , berapakah jarak antar rodanya apabila ketinggian pusat gravitasinya dari tanah sebesar 0,8?

Daftar Pustaka

- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2017). *Fundamentals of Physics, Extended, 11ed.* John Wiley & Sons.
- Knight, R. D. (2022). *Physics for scientists and engineers.* Pearson Education, Limited.
- Knight, R. D. (2021). *University Physics for The Life Sciences.* Prentice Hall.
- Kua, M. Y., Maing, C. M., Tabun, Y. F., Jibril, A., Setiawan, J., Heriyanto, L., ... & Dolo, F. X. (2021). *Teori dan Aplikasi Fisika Dasar.* Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Sa'diyah, A., Andari, A., Wardhani. P., Alfianto, E., Asrori, M.R., Zulkarnain, ... & Aisyah, S. (2022). *Fisika Dasar Pada Industri.* PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Urone, P. P., & Hinrichs, R. (2012). *College Physics* (OpenStax).

Profil Penulis



Dr. Jan Setiawan, S.Si, M.Si

Penulis lahir di Jakarta pada tahun 1980. Saat ini penulis adalah staf Peneliti Ahli Madya pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis menyelesaikan studi S1 di prodi Fisika Institut Pertanian Bogor pada tahun 2003. Studi S2 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia diselesaikan oleh Penulis pada tahun 2010. Tahun 2015, Penulis menyelesaikan studi S3 di prodi Ilmu Bahan-bahan

Universitas Indonesia. Bidang kepakaran penelitian Penulis adalah teknik material. Selain berkarir sebagai peneliti Penulis juga aktif menjadi pengajar pada Program Studi Teknik Elektro - Universitas Pamulang. Penulis juga aktif menjadi editor untuk jurnal ilmiah nasional dan mitra bestari untuk jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional. Penulis mulai berkecimpung dalam penulisan buku untuk bidang MIPA dan keteknikan semenjak tahun 2020.

Email Penulis: jansetiawan.lecturer@gmail.com

Icha Untari Meidji
Universitas Negeri Gorontalo

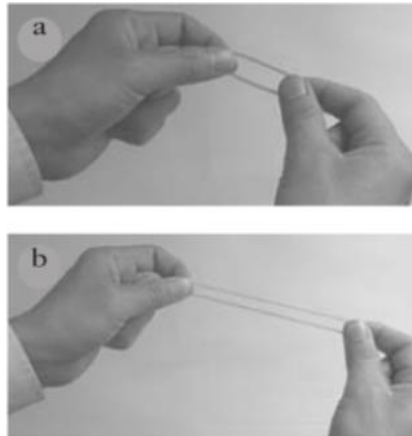
Pendahuluan

Gelombang seismik pada suatu usikan yang menjalar di dalam suatu medium dimungkinkan adanya suatu sifat-sifat fisis dari medium terhadap penjalaran gelombang tersebut. Untuk memudahkan dalam membahas tentang penjalaran gelombang seismik tersebut secara fisis akan lebih baik menggunakan teori elastisitas. Tak hanya gelombang, kasus suatu materi atau objek dalam posisi diam secara alamiah mampu berada seimbang baik secara rotasi maupun translasi dapat dipelajari dengan teori elastisitas. Sifat fisis “inersia” dari benda yang selalu ingin berada dalam posisi seimbang, memungkinkan adanya suatu gaya luar (eksternal) sehingga suatu material atau objek akan mengalami deformasi (perubahan), baik dalam skala kecil maupun besar. Oleh karena itu, titik kunci yang menjadi pembahasan dalam elastisitas ini adalah hukum-hukum dasar mengenai respon benda terhadap gaya, dan sifat-sifat benda seperti modulus Young, modulus geser, modulus bulk dan lain-lain. Secara definitif, elastisitas mempunyai arti bahwa adanya ukuran suatu benda untuk kembali ke posisi semula setelah gaya yang diberikan tidak ada lagi.

Elastisitas

Elastisitas adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu benda atau bahan untuk kembali ke posisi atau keadaan awal setelah gaya yang diberikan ke benda atau bahan tersebut dihilangkan. Hal ini bisa dicontohkan dengan penarikan karet gelang sampai mencapai posisi melar. Namun, karet gelang tersebut akan kembali ke keadaan awal jika tarikan yang diberikan dihilangkan (tidak ada). Perhatikan Gambar 13.1, bahwa konsep dari elastisitas juga bisa diamati pada kendaraan bermotor berupa motor dan mobil yang bagian komponennya itu

dipasang suatu sistem alat yang berfungsi untuk peredam. Alat tersebut dinamakan *shockabsorber* atau lebih dikenal dengan *shockbreaker*. Dalam alat tersebut ada suatu fungsi pegas, di mana jika kendaraan melewati jalan yang berlubang, berat pengendara dan kendaraan akan menekan pegas tersebut sehingga termampatkan. Pegas akan kembali ke posisi awal ketika berada pada jalan yang rata.



Gambar 13.1. (a) Perubahan karet gelang pada saat belum diberikan suatu gaya tarik; (b) Suatu gaya tarik yang diberikan kepada karet gelang sehingga mengalami pemelaran (Kamajaya & Saripudin, 2008)

Ada tiga macam bentuk dari elastisitas, yaitu elastisitas zat padat, elastisitas pada pegas dan energi potensial pegas.

Elastisitas Zat Padat

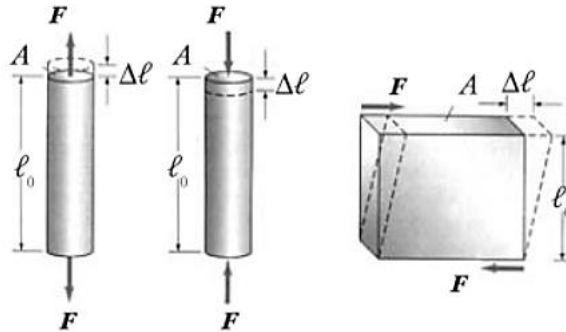
Benda yang kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan padanya disebut benda elastis. Sedangkan jika benda tersebut tidak kembali ke bentuk semula setelah gaya yang dikenakan padanya dihilangkan disebut benda plastis. Contohnya, plastisin dan tanah liat. Adapun besaran yang termasuk dalam elastisitas zat padat atau benda ini, sebagai berikut.

A. Tegangan (*stress*)

Apabila suatu benda diberikan suatu gaya luar \mathbf{F} , sehingga molekul dari benda tersebut akan menolak berupa gaya reaksi untuk melawan gaya \mathbf{F} tersebut. Besarnya gaya yang diberikan oleh molekul tersebut persatuan luasan benda disebut tegangan atau *stress*. Agar terjadi suatu kesetimbangan dalam sistem tersebut,

maka gaya reaksi dari molekul benda harus sama besar dengan gaya luar F yang diberikan.

Untuk lebih jelasnya, kita tinjau suatu logam yang berbentuk silinder dengan panjang l_0 dan panampang lingkaran dengan luasan A . Pada luasan lingkaran tersebut diberikan suatu gaya luar masing-masing sebesar F yang mempunyai arah berlawanan. Seperti yang terlihat pada Gambar 13.2.



Gambar 13.2. Bentuk arah gaya yang diberikan pada suatu benda yang elastis (Serway & Jewett, 2008)

Besarnya tegangan yang dialami oleh benda tersebut adalah:

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{\text{gaya luar } (F)}{\text{Luas permukaan } (A)} \quad (13.1)$$

Persamaan (13.1) di atas memberikan arti bahwa tegangan sangat dipengaruhi oleh gaya luar yang diberikan ke suatu benda dan luasnya permukaan tempat gaya tersebut. Satuan tegangan adalah Nm^{-1} atau pascal (Pa).

B. Regangan (*strain*)

Berdasarkan Gambar 13.2 di atas, pengaruh gaya F yang diberikan kepada kedua ujung batang yang panjangnya l_0 adalah bertambahnya batang logam sebesar Δl . *Strain* dapat didefinisikan sebagai rasio perubahan panjang terhadap panjang mula-mula. Pertambahan panjang dari suatu benda terhadap panjang benda mula-mula ini diakibatkan oleh pengaruh gaya luar yang mempengaruhi benda tersebut. Satuan regangan (*strain*) tidak ada,

ini dikarenakan satuan perpanjangan berupa meter dan panjang mula-mula adalah meter juga. Secara matematis regangan dapat dirumuskan pada persamaan (13.2) berikut ini:

$$\text{Regangan } (e) = \frac{\text{Pertambahan Panjang } (\Delta l)}{\text{Panjang mula-mula}(l_0)} \quad (13.2)$$

C. Modulus Elastis

Perbandingan antara tegangan dan regangan dinamakan sebagai modulus elastis. Modulus ini juga dapat didefinisikan sebagai besarnya gaya yang bekerja pada suatu benda yang mempunyai suatu luas penampang tertentu untuk dapat meregangkan benda tersebut. Oleh karena itu, modulus elastis ini dianggap sebagai suatu ukuran seberapa berat untuk menekan dan meregangkan suatu benda, sehingga nilai modulus elastis menunjukkan tingkat elastisitas dari suatu benda.

$$\text{Modulus Elastis} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \quad (13.3)$$

Ada tiga tipe modulus yang dipakai dalam mengukur fraksi dari tekanan terhadap regangan. Fraksi yang pertama adalah modulus Young. Modulus ini merupakan suatu perbandingan antara tekanan dan regangan, jika suatu benda dibuat regang atau direntangkan. Fraksi kedua adalah modulus bulk, yaitu modulus yang merupakan suatu perbandingan antara tekanan dan regangan, jika suatu benda mengalami perubahan. Tipe fraksi ketiga adalah *shear* modulus atau modulus geser, yaitu modulus yang membandingkan antara tekanan dan regangan, jika suatu benda mengalami *shearing* atau pergeseran. Ketiga tipe fraksi tersebut dapat dibuatkan suatu persamaan seperti di bawah ini.

$$\text{Modulus Young} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} \quad (13.4)$$

$$\text{Modulus Bulk} = -\frac{\Delta P}{\Delta v/v_0} \quad (13.5)$$

$$\text{Modulus Shear} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} \quad (13.6)$$

Dengan F adalah gaya yang diberikan; A adalah luasan permukaan benda; Δl adalah perubahan panjang akibat suatu gaya; l_0 adalah panjang mula-mula suatu benda; ΔP adalah perubahan tekanan dari

benda; ΔV adalah perubahan volume benda; v_o adalah volume benda mula-mula; dan tanda minus menunjukkan bahwa volume benda akan berkurang dengan diberikan suatu tekanan pada benda tersebut.

D. Batas Elastis

Suatu benda mempunyai sifat-sifat yang berbeda (Tabel 13.1). Hal ini dipengaruhi oleh besar gaya yang diberikan kepada benda tersebut. Apabila suatu gaya yang diberikan terlalu kecil daripada kekuatan sifat elastisitas benda tersebut, maka benda tersebut akan kembali seperti semula ketika gaya tersebut dihilangkan. Sebaliknya, jika gaya yang diberikan sangat besar dari sifat elastisitas benda tersebut, maka benda tersebut tidak bisa kembali ke bentuk semula sehingga mengalami perubahan bentuk dan ukuran (Liu dkk., 2009).

Tabel 13.1 Nilai Modulus Elastis untuk Beberapa Zat

No	Zat	Modulus Elastis (N/m ²)
1	Besi	100 x 10 ⁹
2	Baja	200 x 10 ⁹
3	Batubara	14 x 10 ⁹
4	Marmar	50 x 10 ⁹
5	Kayu	10 x 10 ⁹
6	Perunggu	100 x 10 ⁹
7	Aluminium	70 x 10 ⁹
8	Beton	20 x 10 ⁹
9	Granit	45 x 10 ⁹
10	Nilon	5 x 10 ⁹
11	Tulang Muda	15 x 10 ⁹
12	Tembaga	120 x 10 ⁹

Sumber : (Sulaeman, 2018)

Elastisitas pada Pegas

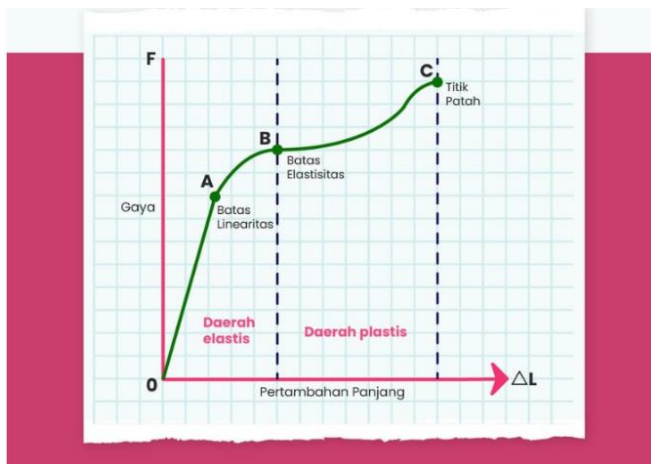
Pegas merupakan contoh suatu benda yang mempunyai sifat elastis yang kembali ke bentuk atau posisi semula ketika gaya yang diberikan dihilangkan. Untuk bisa mengembalikan bentuk benda ke posisi semula, dibutuhkan gaya yang disebut dengan gaya pemulih.

A. Hukum Hooke

Robert Hooke (1635 – 1707) menyatakan bahwa jika pegas ditarik dengan suatu gaya tanpa melalui batas elastisitasnya, maka pegas tersebut akan bekerja suatu gaya pemulih yang mempunyai besar gaya sebagai berikut.

$$F = -k \Delta x \quad (13.7)$$

Dengan F menyatakan suatu gaya atau berat tarik pada objek, Δx adalah pertambahan panjang dan k menyatakan suatu konstanta kesebandingan atau ukuran kekakuan pegas. Tanda (-) menyatakan bahwa adanya gaya yang berlawanan antara gaya pemulih pada pegas dengan arah simpangan pegas. Jika nilai k suatu pegas besar maka dianggap pegas tersebut kaku dan jika nilai k bernilai kecil maka pegas tersebut memiliki sifat pegas lunak.



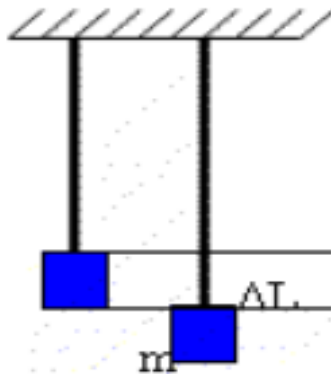
Gambar 13.3 Tipe grafik elongasi terhadap gaya (Bresnick dkk., 2002)

Persamaan (13.7) sering disebut “Hukum Hooke”. Persamaan ini berlaku untuk semua jenis material padat dari besi hingga tulang, tetapi hanya berlaku sampai titik tertentu. Jika gaya sangat besar, maka objek akan terus bertambah panjang dan akhirnya akan

mengalami pemutusan atau patah. Ilustrasi ini dapat ditunjukkan pada Gambar 13.3 di atas.

Dari gambar 13.3 di atas dapat diterangkan bahwa hukum Hooke hanya berlaku pada daerah elastis saja. Jika diberikan gaya (*stress*) yang cukup besar maka akan mengakibatkan elastisitas benda menjadi tidak linear lagi (elastisitas tidak konstan), maka daerah ini dinamakan daerah plastis. Jika benda sudah berada pada daerah plastis akibat dari gaya atau *stress* besar, maka akan mengakibatkan elastisitas benda akan hilang dan benda tidak akan kembali ke bentuk semula sampai suatu saat akan mengakibatkan benda tersebut akan hancur atau putus, dimana ikatan ion-ion yang terdapat dalam benda tidak mampu lagi untuk menahan besarnya *stress* atau gaya yang diberikan. Elogasi mencapai titik maksimum pada “titik putus”. Gaya maksimum yang dapat dikenakan hingga objek tersebut hampir putus disebut “kekuatan ultimasi” (*ultimate strength*) dari material (Sulaeman, 2018).

Hukum Hooke secara umum dapat juga dijabarkan dalam persamaan matriks. Hal ini dikarenakan hukum ini diperoleh secara eksperimental pada tahun 1660, akan tetapi dipublikasikan pada tahun 1967 (Morgan, 1983).



Gambar 13.4 Faktor yang berpengaruh terhadap elongasi dari objek (Arifin & Tim Pengajar Fisika, 2001)

Besar elongasi dari suatu benda atau objek, seperti pada Gambar 13.4, tidak bergantung pada besar gaya yang diberikan, tetapi bergantung pada jenis material dan dimensi dari objek. Jika terdapat suatu batang benda yang mempunyai material sama dan

mempunyai panjang dan luas penampangnya beda, diperoleh bahwa gaya yang diberikan sama, panjang sebanding dengan gaya dan panjang mula-mula serta berbanding terbalik dengan luas penampangnya.

B. Tetapan Gaya pada Benda Plastis

Dari pembahasan tentang modulus Young di atas, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \frac{F l_0}{A \Delta l} \quad (13.8)$$

Dari persamaan di atas, dapat dihitung besarnya gaya yang bekerja pada suatu benda dengan persamaan berikut.

$$F = \frac{YA}{l_0} \Delta l \quad (13.9)$$

Berdasarkan hukum Hooke tersebut diperoleh besarnya gaya pemulih pada pegas, yaitu sebesar $F = -k \Delta x$ atau $F = -k \Delta l$. Oleh karena itu, diperoleh besarnya konstanta gaya pada benda plastis sebagai berikut.

$$K = \frac{YA}{l_0} \quad (13.10)$$

C. Hukum Hooke untuk Susunan Pegas

Berdasarkan hukum Hooke pada elastisitas pegas (persamaan 7), maka:

$$\Delta k = -\frac{F}{k} \quad (13.11)$$

Jika penyusunan pegas disusun dalam posisi seri maka pertambahan panjang pegas diperoleh dari jumlah pertambahan kedua pegas.

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 \quad (13.12)$$

$$\Delta x = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2} \quad (13.13)$$

$$\Delta x = F \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) \quad (13.14)$$

$$\Delta x = F \left(\frac{1}{k_{seri}} \right) \quad (13.15)$$

$$\frac{1}{k_{seri}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (13.16)$$

Jadi, ketetapan pegas jika disusun secara seri dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{k_{seri}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \dots \quad (13.17)$$

Sebaliknya, jika susunan pegas dibuat dalam bentuk paralel, maka gaya **mg** (massa x gravitasi) yang digunakan dalam menarik kedua pegas sehingga menempatkan adanya pertambahan kedua pegas tersebut.

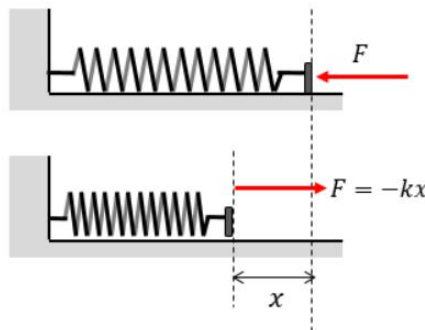
$$F = F_1 + F_2 \quad (13.18)$$

$$k \Delta x = k_1 \Delta x + k_2 \Delta x \quad (13.19)$$

$$k \Delta x = (k_1 + k_2) \Delta x \quad (13.20)$$

Energi Potensial Pegas

Pada umumnya energi potensial pegas merupakan kemampuan suatu pegas untuk kembali ke bentuk atau posisi semula setelah gaya yang dikenakan padanya dihilangkan. Energi yang dimiliki pegas saat kondisi teregang atau tertekan merupakan salah satu bentuk energi potensial. Untuk lebih jelasnya, mari kita tinjau ilustrasi gambar di bawah ini.



Gambar 13.5 Model pertambahan panjang pada pegas (sumber: wardayacollege.com)

Ditinjau sebuah sistem pegas dengan konstanta k yang terletak di atas bidang datar licin. Pegas tersebut diberikan gaya sebesar F sehingga ujung pegas mengalami perubahan posisi sebesar x (Gambar 13.5).

Oleh karena itu, gaya pulih yang dilakukan oleh pegas sebesar $F = -kx$, sehingga untuk mendapatkan besar usaha yang dilakukan oleh pegas dicari dengan menghitung gaya pulih terhadap x .

Jika pada posisi awal, ujung pegas berada pada $x = x_i$ dan setelah diberikan gaya luar, ujung pegas tersebut berada pada posisi $x = x_f$, maka usaha yang dilakukan oleh pegas sebesar W .

$$W = \int_{x_i}^{x_f} -kx \, dx \quad (13.21)$$

$$W = \left[-\frac{1}{2}kx^2 \right]_{x_i}^{x_f} \quad (13.21)$$

$$W = \frac{1}{2}kx_i^2 - kx_f^2 \quad (13.22)$$

$$W = E_{pi} - E_{pf} \quad (13.23)$$

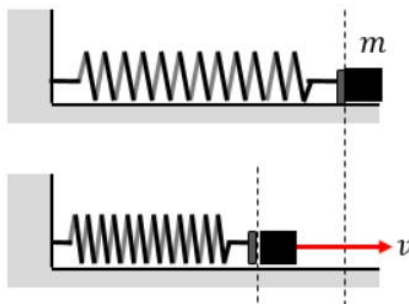
Karena gaya luar yang bekerja berlawanan arah dengan gaya pemulih, maka besar usaha (W_{eks}) oleh gaya luar adalah:

$$W_{eks} = E_{pf} - E_{pi} \quad (13.24)$$

Usaha merupakan perubahan energi potensial, sehingga energi potensial pada pegas mengalami peregangan sebesar x , sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 \quad (13.25)$$

Jika gaya luar yang sudah diberikan pada pegas dihilangkan, maka pegas akan melontarkan beban bermassa m dan beban bermassa m bergerak dengan kecepatan v maka energi potensial pegas tersebut mengalami perubahan menjadi energi kinetik pegas.



Gambar 13.6 Model perubahan energi potensial pegas ke energi kinetik pegas (sumber: wardayacollege.com)

Dari Gambar 13.6 di atas, dapat diasumsikan bahwa semua energi potensial pegas mengalami perubahan menjadi energi kinetik, sehingga berlaku hukum kekekalan energi mekanik.

$$\Delta E_p + \Delta E_k = 0 \quad (13.26)$$

Penerapan hukum Hooke dalam Kehidupan Sehari-hari

Berikut ini merupakan aplikasi hukum Hooke yang sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari.

1. Penggunaan shockbreaker pada kendaraan, baik sepeda motor atau mobil. *Shockbreaker* ini berfungsi untuk meredam setiap guncangan yang terjadi di kendaraan bermotor.
2. Penggunaan per pada kasur *spring bed* sehingga menjadikan kasur tersebut tidak mudah kempes.
3. Adanya karet yang sifatnya elastis pada ketapel yang sedang ditarik, sehingga menjadikan energi potensialnya menjadi besar, jika semakin panjang tarikan karetnya.
4. Adanya bantalan pegas pada pompa manual, sehingga membuat pompa tersebut bisa naik dan turun.
5. Dalam dunia industri migas, hukum Hooke untuk tegangan dan regangan dipakai dalam analisis batuan yang ada di bawah permukaan bumi.

Dari penjelasan di atas, dapat dibuatkan kesimpulan bahwa hukum Hooke berlaku pada pegas atau benda yang bersifat elastis ketika diberikan suatu beban tertentu. Pegas akan mengalami perubahan panjang yang besarnya sebanding dengan beban yang diberikan kepadanya.

Daftar Pustaka

- Arifin, & Tim Pengajar Fisika. (2001). *Diktat Kuliah Fisika Dasar I*. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Bresnick, S., Gabriel, J. F., Virgi, S., & Huriawati, H. (2002). *Intisari Fisika: Vol. I*. Jakarta.
- Kamajaya, & Sariipudin, A. (2008). *Fisika untuk Kelas XI Semester I Sekolah Menengah Atas* (Cetakan 1). Grafindo Media Pratama. Bandung.
- Liu, H.-H., Rutqvist, J., & Berryman, J. G. (2009). On the relationship between stress and elastic strain for porous and fractured rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(2), 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.04.005>
- Morgan, T. R. (1983). *Foundation of Wave Theory for Seismic Exploration*. IHRDC, Boston.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (Seventh Edition). Thomson Learning Academic Resource Center.
- Sulaeman, B. (2018). Modulus Elastisitas Berbagai Jenis Material. *Pena Teknik: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 3(2), 127. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v3i2.176
- Wardayacollege.com. (2023, 28 Maret). *Fisika-Pelajaran, Soal & Rumus Matematika Lengkap*. Diakses pada 28 Maret 2023, dari <https://www.wardayacollege.com/fisika/>

Profil Penulis



Icha Untari Meidji, S.Si., M.Sc

Dunia sains sangat menarik bagi penulis. Tamat dari bangku SMA Negeri 1 Palu, penulis mencoba mendalami ilmu tersebut di Jurusan Fisika, Universitas Tadulako. Bidang Fisika Kelautan menjadi pilihan penulis selama menjadi mahasiswa di jurusan tersebut. Untuk mengembangkan keilmuan tentang ilmu sains, penulis melanjutkan studi magister di Jurusan Ilmu Fisika, Universitas Gadjah Mada. Ketidaktiadaan keilmuan fisika kelautan di Jurusan Fisika UGM, menjadikan penulis mengambil bidang Geofisika (fisika bumi) dengan topik riset kebencanaan. Alhamdulillah, tahun 2014 penulis menyelesaikan studi magister dengan predikat “Cum Laude”. Awal 2015, penulis menjadi dosen tetap BLU di Universitas Tadulako, Palu. Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Geologi tempat awal penulis mengabdikan diri untuk mengajar dan dilanjutkan ke Jurusan Fisika selama 1 semester. Tahun 2022, Penulis lulus CPNS di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, sampai sekarang.

Beberapa mata kuliah yang pernah diberikan tanggung jawab kepada penulis, antara lain Fisika Dasar I dan II, Matematika Dasar I dan II, Geofisika Umum, Kajian Lingkungan Hidup, Geokomputasi, Termodinamika, Geologi Kelautan, Filsafat Sains dan Mitigasi Bencana Alam. Mata kuliah ini tersebar di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam serta Fakultas Teknik di Universitas Tadulako dan Universitas Negeri Gorontalo.

Email Penulis: ichauntarimeiji10@gmail.com

TEGANGAN DAN REGANGAN

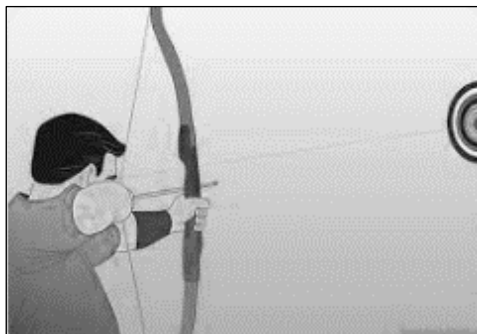
Mawarni Saputri
Universitas Syiah Kuala

Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, sering kita jumpai benda yang bersifat elastis. Salah satu contohnya yaitu pegas. Ketika kita menarik sebuah pegas, maka pegas akan berubah bentuk yaitu semakin panjang. Namun, ketika tarikan kita lepaskan maka pegas segera kembali ke bentuk semula.

Pada dasarnya, semua benda dapat mengalami perubahan bentuk (deformasi) apabila diberikan gaya eksternal pada benda tersebut. Ketika suatu benda mengalami gaya eksternal, maka ia akan mengalami perubahan ukuran, bentuk, atau keduanya. Ada benda yang bisa kembali ke bentuk semula ketika gaya yang diberikan dihilangkan, tetapi ada juga benda yang berubah bentuk, menjadi bentuk yang baru. Apabila gaya yang diberikan kepada benda terlalu besar dan sudah melewati titik maksimumnya untuk meregang, maka benda tersebut bisa hancur atau rusak.

Konsep Elastisitas

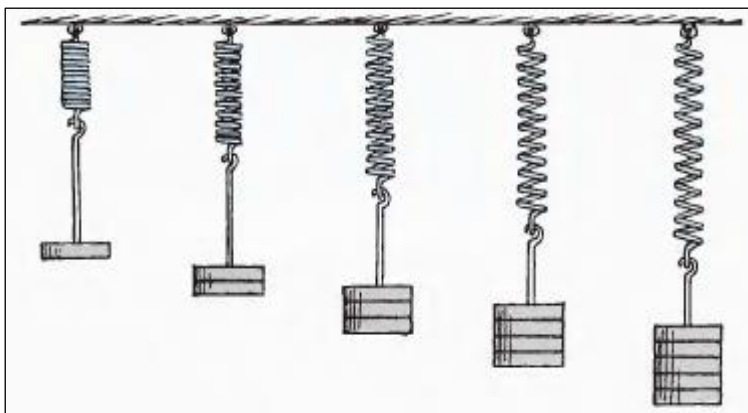


Gambar 14.1: Animasi tarikan tali busur panah
Sumber: <https://id.wikihow.com/Menembakkan-Anak-Panah>

Bagaimana jika tali busur diganti dengan bahan lain? Apakah masih dapat meregang seperti yang terjadi pada gambar? Saat tali busur ditarik ke belakang yang artinya memberi gaya ke tali busur, limb akan melengkung lebih dalam dan tali busur menjadi kencang, Setelah tarikan dilepas (gaya dihilangkan), tali busur kembali ke keadaan semula. Saat itu, tali busur mempunyai gaya yang lebih besar dari gaya tarik. Gaya inilah yang menyebabkan anak panah melesat jauh. Tali busur dan pegas mempunyai sifat yang sama, yaitu bersifat elastis (lentur). Hal ini sesuai dengan konsep elastisitas.

Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya eksternal yang diberikan kepada benda itu dihilangkan (dibebaskan). Sifat ini berlaku ketika gaya yang diberikan lebih kecil dari pada batas elastis.

Jika bahan elastis diregangkan atau dikompresi melampaui jumlah tertentu, ia tidak akan kembali ke keadaan aslinya dan akan tetap terdistorsi. Jarak di luar yang terjadi distorsi permanen disebut batas elastis. Batas elastis merupakan titik dimana sifat elastis masih berlaku pada suatu benda yang diberikan gaya. Hukum Hooke hanya berlaku selama gaya tidak meregangkan benda di luar batas elastisnya (Hewitt, 2006).



Gambar 14.2. Peregangan pegas berbanding lurus dengan gaya yang diberikan. Jika beratnya digandakan, pegas meregang dua kali lipat.

Sifat Elastis dan Plastis Suatu Bahan

Pada saat kita menarik sebuah karet dan pegas, dengan jelas kita dapat melihat karet dan pegas tersebut akan mengalami perubahan bentuk. Demikian juga saat kita duduk diatas sebuah kasur busa, kasur akan mengalami perubahan bentuk.

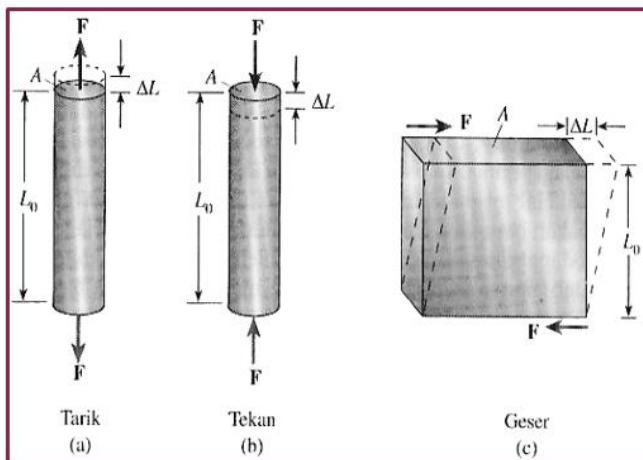
Beberapa benda mempunyai sifat lentur atau elastis. Sifat ini merupakan sifat bawaan dari setiap benda. Sifat benda yang kembali ke bentuk semula ketika gaya yang memengaruhinya dihilangkan disebut sifat elastis. Benda yang mempunyai sifat seperti ini disebut benda elastis.

Tidak semua benda mempunyai sifat elastis. Benda-benda seperti keramik dan kaca akan mudah patah jika dilengkungkan. Benda yang mengalami deformasi dan tidak kembali ke bentuknya semula disebut benda plastis atau tidak elastis.

Tegangan

Apabila pada sebuah benda diberikan gaya eksternal sebesar F , molekul-molekul pembentuk benda akan memberikan gaya reaksi untuk melawan gaya eksternal tersebut. Besarnya gaya yang diberikan oleh molekul-molekul persatuan luas benda disebut tegangan atau stress. Tegangan juga didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada luasan struktur molekul atau penampang benda, mengubah struktur molekul benda (Bueche, 1989).

Dalam suatu keseimbangan gaya, gaya reaksi dari molekul-molekul benda sama besar dengan gaya eksternal. Tinjaulah sebuah benda berupa batang logam berbentuk silinder yang panjangnya ℓ_0 dan penampangnya berbentuk lingkaran dengan luas A . Pada kedua permukaan benda seluas A tersebut diberikan gaya eksternal masing-masing sebesar F yang berlawanan arah.



Gambar 14.3. Jenis tegangan (stress) pada benda padat

Besarnya tegangan yang dialami oleh benda tersebut adalah:

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{gaya}}{\text{luas}} \text{ Atau } \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(14.1)$$

Dengan:

F = gaya (N)

A = luas penampang atau luas permukaan (m²)

σ = tegangan (N/m²)

Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang pada benda, maka disebut *tegangan tensil*. Sebaliknya, jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda, maka disebut *tegangan kompresional*.

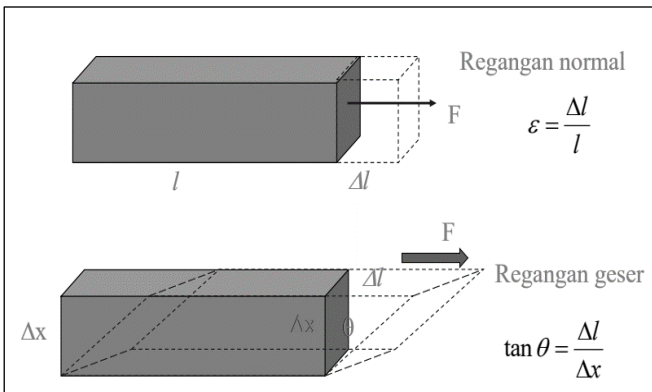
Regangan (Strain)

Perhatikan kembali gambar 14.3, pengaruh gaya luar F yang diberikan pada kedua ujung batang yang panjangnya ℓ_0 adalah batang logam bertambah panjang sebesar $\Delta\ell$. Dengan demikian, regangan yang dialami batang, yaitu:

$$\text{Regangan} = \frac{\text{Pertambahan panjang}}{\text{Panjang mula-mula}}$$

$$\text{Atau } \epsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \dots\dots\dots(14.2)$$

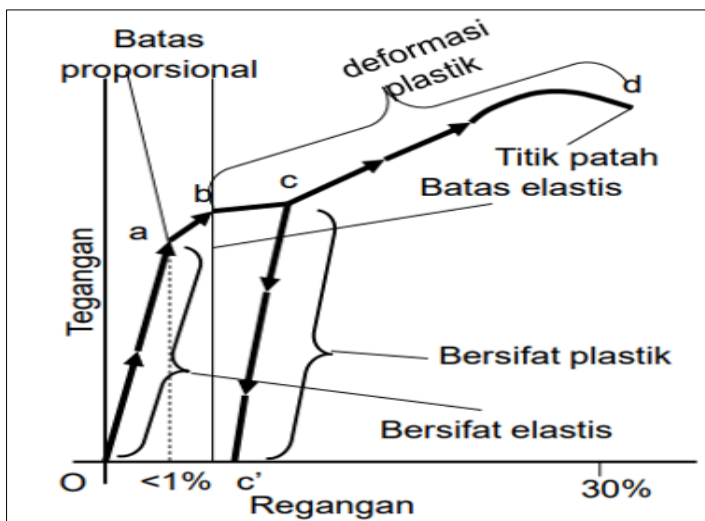
Dari persamaan (2) regangan (strain) dapat didefinisikan sebagai perbandingan pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang benda mula-mula karena ada gaya luar yang mempengaruhi benda. Pertambahan panjang bersatuan meter dan panjang mula-mula ℓ_0 bersatuan meter sehingga regangan tidak memiliki satuan.



Gambar 14.4. Regangan normal dan regangan geser

Diagram Tegangan-Regangan

Jika pegas diberikan gaya yang tidak terlalu besar maka pegas akan kembali ke bentuk semula. Namun, jika pegas direntangkan dengan gaya yang lebih besar lagi, ada saatnya pegas menjadi kendur dan sampai di titik tertentu, pegas tidak dapat kembali ke bentuk semula (plastis). Hal ini menandakan bahwa elastisitas pegas sudah melampaui batas. Jika gaya terus diperbesar sampai melewati kemampuannya untuk meregang, maka pegas akan patah (Sutrisno, 1997). Hubungan antara tegangan-regangan sesuai gaya yang diberikan pada pegas terhadap pertambahan panjang pegas dapat dilihat pada gambar 14.5 berikut.



Gambar 14.5. Diagram tegangan-regangan

Berdasarkan grafik pada gambar 5, dari titik O sampai a bentuk garisnya masih lurus (linear). Sehingga, titik a menjadi batas proporsional yang bersifat elastis (berlaku hukum Hooke). Dari titik O sampai b, sifat benda masih elastis. Jadi, jika diberikan gaya sedikit lebih besar dari a, maka panjang benda masih bisa kembali ke kondisi semula, meskipun ada sedikit perubahan. Oleh karena itu, titik b menjadi batas elastisitas benda.

Di titik c sampai d, benda sudah tidak bisa kembali ke titik semula. Jadi, ketika gaya yang diberikan sudah melebihi titik c, artinya ukuran benda itu pasti akan bertambah. Karena itu, titik d disebut titik putus (patah), di mana gaya yang diberikan melebihi titik itu bakal rusak atau putus.

Modulus Young

Modulus Young atau modulus elastisitas adalah besar gaya yang bekerja pada luas penampang tertentu untuk meregangkan benda. Dengan kata lain, modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada benda. Semakin besar nilai modulus Young, semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk meregangkan benda (Sears & Zemansky, 1994). Modulus Young dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \frac{\text{tegangan } (\sigma)}{\text{regangan } (\varepsilon)} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta \ell}{\ell_0}} \dots\dots\dots (14.3)$$

$$Y = \frac{F \ell_0}{A \Delta \ell} \dots\dots\dots (14.4)$$

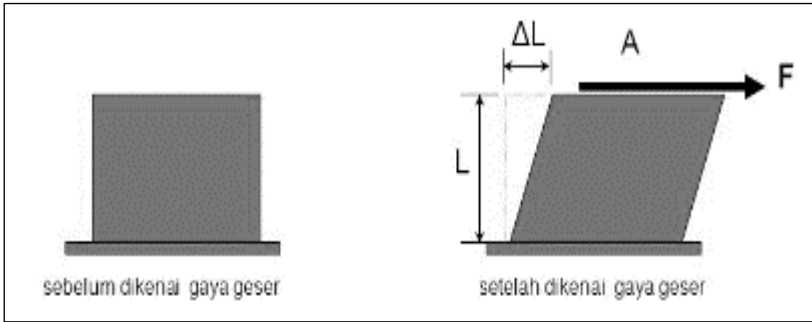
Keterangan:

- F = gaya yang bekerja pada benda (N)
- A = luas penampang benda (m²)
- $\Delta \ell$ = pertambahan panjang benda (m)
- ℓ_0 = panjang awal benda (m)
- Y = modulus Young ((N/m²))

Modulus Young hanya mengukur perbandingan antara tegangan (stress) normal dengan regangan (strain) arah normal.

Modulus Geser

Modulus Geser G menggambarkan sifat elastisitas bentuk suatu bahan, seperti ditunjukkan pada gambar 14.6, gaya-gaya tangensial yang sama dan berlawanan F bekerja pada suatu balok persegi.



Gambar 6. Tegangan regangan pada modulus geser

Gaya geser ini mengganggu balok, tetapi tidak mengubah volume balok. Gaya geser yang bekerja pada luas A menyebabkan permukaan bergeser sehingga membentuk suatu tegangan geser dan regangan geser. Secara matematis modulus geser dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{regangan geser}} = \frac{F}{\frac{\Delta \ell}{\ell_0}} \dots\dots\dots (14.5)$$

$$G = \frac{\frac{F}{A}}{\tan \theta} \dots\dots\dots (14.6)$$

Modulus geser akan bernilai konstan, ketika tegangan geser yang diberikan kecil. Sehingga regangan geser berubah secara linier untuk tegangan kecil. Modulus geser sering disebut sebagai modulus torsi (Abdullah, 2016).

Modulus Bulk

Modulus Bulk (B) menggambarkan elastisitas volume suatu bahan. Bila sebuah benda yang mula-mula volumenya V mendapat tekanan dari segala arah secara homogen sebesar P maka ia akan mengalami perubahan volume sebesar ΔV. Bila perubahan ini masih di daerah linier maka berlaku hubungan:

$$P = -B \frac{\Delta V}{V} \text{ atau } B = -V \frac{dP}{dV} \dots\dots\dots (14.7)$$

Dan persamaan ini berlaku juga untuk fluida. Untuk fluida dikenal parameter kompresibilitas yang didefinisikan sebagai kebalikan dari modulus Bulk yaitu:

$$K = \frac{1}{B} \text{ atau } K = \frac{\frac{dV}{V_0}}{dP} = - \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP} \dots\dots\dots (14.8)$$

Persamaan bertanda negatif ini, artinya bahwa setiap peningkatan tegangan akan menyebabkan volume suatu benda berkurang (Sirait & Sihombing, 2010).

Tabel 1. Parameter Keelastisan Bahan

Bahan	Modulus Young ($\times 10^{11}$ N/m ²)	Modulus Geser ($\times 10^{11}$ N/m ²)	Modulus Bulk ($\times 10^{11}$ N/m ²)
Aluminium	0,70	0,24-0,30	0,70
Tembaga	1,00-1,20	0,40-0,42	1,20-1,40
Besi (cast iron)	0,80-1,00		9,60
Besi (wrought)	1,80-2,00	0,70-1,5	1,0-2,10
Timbal	0,15-0,16	0,05-0,056	0,077-0,08
Baja	1,90-2,10	0,80-0,84	1,60
Kuningan	0,91	0,36	0,61
Kaca	0,55	0,23	0,37
Nikel	2,10	0,77	2,60
Wolfram	3,60	1,50	2,00

Patahan

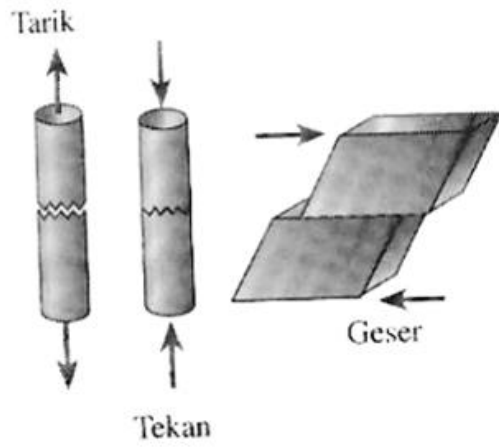
Gaya maksimum yang dapat diberikan tanpa benda itu patah disebut sebagai kekuatan maksimum dari materi atau benda itu. Tabel 2 menunjukkan daftar kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan kekuatan geser maksimum untuk berbagai materi.

Tabel 2. Kekuatan maksimum bahan (gaya/luas)

Bahan	Kekuatan Tarik ($\times 10^6$ N/m ²)	Kekuatan Tekan ($\times 10^6$ N/m ²)	Kekuatan Geser ($\times 10^6$ N/m ²)
Besi, gips	170	550	170
Baja	500	500	250
Kuningan	250	250	200
Aluminium	200	200	200
Beton	2	20	2
Batu bata		35	5
Marmer		80	
Granit		170	
Kayu (pinus)	40	35	
Nilon	500		
Tulang (tungkai)	130	170	

(Giancoli, 2001)

Nilai-nilai ini menyatakan gaya maksimum persatuan luas yang bisa ditahan benda yang mengalami salah satu dari ketiga jenis tegangan ini. Apabila tegangan yang diberikan pada benda padat terlalu besar, maka benda tersebut akan patah seperti pada gambar 14.7.



Gambar 14.7. Jenis-jenis patahan

Daftar Pustaka

- Abdullah, M. (2016). *Fisika Dasar 1*. Bandung: ITB
- Bueche, F.J. (1989). *Fisika Edisi Kedelapan*. Jakarta: Erlangga
- Giancoli, D. C. (2001). *Fisika Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Hewitt, P. G. (2006). *Conceptual of Physics*. USA: Pearson International Inc.
- Sears, F.W & Zemansky, M.W. (1994). *Fisika untuk Universitas 2*. Bandung: Binacipta
- Sirait, M & Sihombing E. (2010). *Fisika Dasar 1*. Bandung: Cita Pustaka Media Perintis
- Sutrisno. (1997). *Fisika Dasar – Mekanika*. Bandung: ITB
- <https://id.wikihow.com/Menembakkan-Anak-Panah>

Profil Penulis



Mawarni Saputri, M.Pd

Ketertarikan penulis terhadap ilmu fisika dan pendidikan dimulai pada tahun 2008 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Langsa dengan memilih Jurusan IPA dan juga mengikuti olimpiade fisika, hingga lulus pada tahun 2011. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi Pendidikan Fisika Bilingual Universitas Negeri Medan pada tahun 2015. Setahun kemudian, penulis melanjutkan studi S2 di prodi pendidikan Fisika Universitas Negeri Medan hingga selesai di tahun 2019.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Pendidikan Fisika, IPA dan Pembelajaran. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif untuk memajukan pendidikan di Indonesia.

Email Penulis: mawarni_saputri@usk.ac.id

Muh. Said L

Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam
Negeri Alauddin Makassar

Fluida dapat berwujud cair atau gas. Zat yang berwujud cair disebut cairan atau zat cair, sedangkan zat yang berwujud gas disebut gas atau uap. Perbedaan utama antara cairan dan gas terletak pada jarak antara partikel-partikel penyusunnya. Pada cairan, partikel-partikel penyusunnya lebih rapat dan memiliki jarak yang lebih dekat satu sama lain dibandingkan dengan gas. Oleh karena itu, cairan memiliki volume tetap dan tidak mudah terkompresi, sementara gas memiliki volume yang dapat berubah-ubah dan mudah terkompresi (Serway & Jewett, 2013). Untuk menguji tingkat perbedaan antara fluida gas dengan fluida zat cair, maka cara yang dapat dilakukan (Halliday, D., Resnick, R., dan Walker, J., 2014; Atkins & Paula, 2011), antara lain:

- a. Mengukur massa jenis atau densitasnya, umumnya fluida zat cair memiliki densitas yang lebih besar daripada fluida gas. Hal ini dapat diuji menggunakan alat ukur piknometer.
- b. Mengukur tekanannya, pada kedalaman (ketinggian) yang sama fluida zat cair memiliki tekanan yang lebih besar dibanding dengan fluida gas. Hal ini dapat diuji menggunakan alat ukur manometer.
- c. Mengukur laju aliran fluida, yaitu banyaknya volume fluida yang mengalir dalam setiap waktu. Alatnya disebut sebagai flowmeter. Untuk kondisi yang tetap, fluida gas memiliki kecepatan aliran yang cepat dibandingkan dengan fluida zat cair.
- d. Mengukur kekentalannya (viskositas), untuk mengukur tingkat kekentalan suatu fluida maka digunakan alat viskosimeter. Pada

umumnya fluida gas lebih rendah kekentalannya dibandingkan dengan fluida zat cair.

Pada kajian bab ini, dikenal dua jenis fluida yaitu fluida statis (hidrostatika) dan fluida dinamis (hidrodinamika) (Young dan Freedman, 2014). Fluida statis adalah fluida yang diam atau tidak mengalami gerakan. Dalam hal ini, tekanan dalam fluida tersebut hanya dipengaruhi oleh massa jenis dan kedalaman fluida tersebut, serta oleh gaya-gaya eksternal yang diberikan pada fluida. Konsep ini dikenal sebagai hukum Pascal. Sedangkan fluida dinamis adalah fluida yang mengalami gerakan atau aliran. Gerakan ini dapat diakibatkan oleh perbedaan tekanan atau gradien tekanan yang ada di dalam fluida tersebut. Pada fluida dinamis, terdapat kajian yang lebih kompleks, yaitu mengenai prinsip Bernoulli yang menggambarkan hubungan antara tekanan, kecepatan aliran, dan ketinggian fluida.

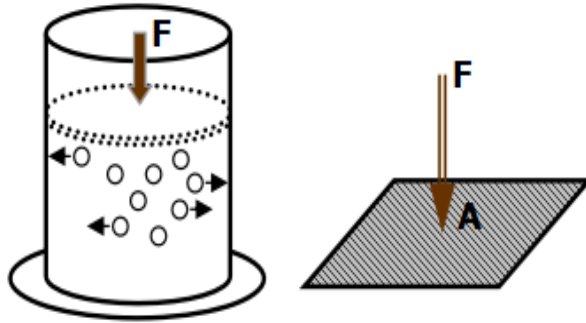
Pada bab ini akan diuraikan kajian fluida statis sedangkan untuk fluida dinamis dapat ditunjukkan materi selanjutnya yaitu fluida 2.

Tekanan dan Massa Jenis

Tekanan dalam Fluida

Pada materi sebelumnya telah dibahas terkait konsep gaya yang dapat menyebabkan sesuatu berubah. Misalnya pada suatu tabung tertutup yang berisi udara kemudian dimampatkan, sehingga volumenya menjadi berubah. Pada gambar 10.1 ditunjukkan bahwa partikel atau molekul-molekul udara pada ruang tabung tertutup tersebut telah memperoleh gaya F dari penghisap, demikian pula dengan dasar tabung dan dindingnya juga telah mendapat gaya tekan dari partikel (molekul) udara tersebut.

Jika gaya F menekan bidang permukaan seluas A , maka besarnya tekanan P yang dihasilkan pada bidang permukaannya (Halliday, D., Resnick, R., dan Walker, J., 2014; Hibbeler, R. C, 2012) adalah:



Gambar 15.1: Molekul udara dalam ruang tabung tertutup mendapat gaya tekan dari pengisap

$$P = \frac{F}{A} \quad (15.1)$$

dengan F adalah gaya tekan (N, dibaca newton), A sebagai besaran luas bidang permukaan (m^2) dan P adalah tekanan pada benda (Nm^{-2}).

Satuan tekanan dalam sistem SI adalah Pa (pascal) dan satuan lainnya adalah atm (dibaca atmosfer) dan bar.

1 Nm^{-2} disebut 1 pascal (Pa)

1 Pa = 1 Nm^{-2}

1 atm. = 1.01325×10^5 Pa

1 bar = 1.00000×10^5 Pa

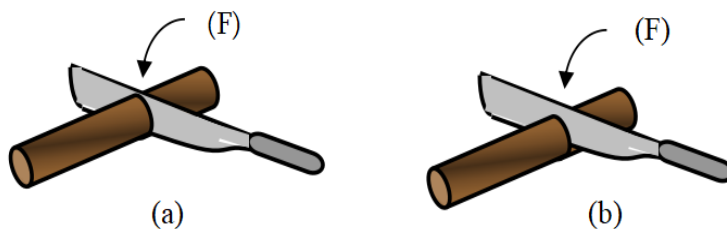
Sesuai persamaan (15.1), didefinisikan bahwa tekanan merupakan besarnya gaya yang bekerja (atau gaya tekan) pada bidang permukaan bahan perluas bidang. Jadi tekanan dipengaruhi oleh besarnya gaya dan luas bidang tekan yang bekerja. Ada dua kasus contoh dalam kehidupan sekitar kita untuk menjelaskan secara konsep terkait tekanan, misalnya pada kasus Gambar 15.2 dan Gambar 15.3. Pada kasus Gambar 15.2 menunjukkan perbandingan tekanan yang dihasilkan antara dua buah pisau yang berbeda luas bidang tekannya, yaitu pisau pertama dikategorikan tajam (Gambar 15.2a) dan pisau kedua dikategorikan tumpul (Gambar 15.2b). Jika kedua pisau tersebut diberi gaya yang sama untuk digunakan memotong pada benda kayu yang sama, maka

tentunya pisau yang tumpul tidak dalam potongannya, Hal ini disebabkan karena pisau tumpul memiliki luas bidang tekannya yang lebar, sedangkan jika pisau yang tajam memiliki luas bidang tekan yang sempit. Sehingga pisau tajam akan memberikan tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan pisau tumpul (tekanannya agak kecil). Jika diberikan gaya F yang sama, maka secara persamaan

berlaku bahwa pisau pertama: $P_1 = \frac{F}{A_1}$ sedangkan pisau yang kedua

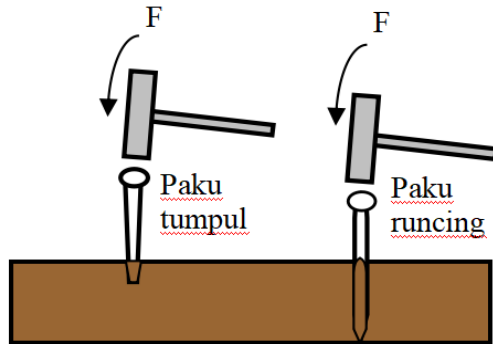
$P_2 = \frac{F}{A_2}$, artinya jika $A_1 < A_2$ maka diperoleh $P_1 > P_2$ (Giancoli, D.

C., 2014; Serway dan Jewett, 2014).



Gambar 15.2: Kasus tekanan dengan gaya sama pada
(a) Pisau tajam dan (b) Pisau tumpul

Kasus kedua adalah dua buah paku yang ditumbuk menggunakan palu ke suatu bidang, paku pertama dikategorikan runcing dan paku kedua dikategorikan tumpul (seperti pada gambar 15.3). Kesimpulannya bahwa apabila kedua paku tersebut ditumbuk menggunakan palu dengan gaya F sama, maka secara konsep fisis diperoleh paku runcing akan mudah lebih masuk kedalam mengenai bidang permukaan disebabkan karena luas bidang tekannya kecil. Sedangkan untuk paku tumpul membutuhkan tekanan yang besar karena luas bidang tekannya lebar (besar).



Gambar 15.3: Kasus tekanan dengan gaya sama pada paku runcing dan paku tumpul

Massa Jenis dan Hukum Utama Hidrostatika

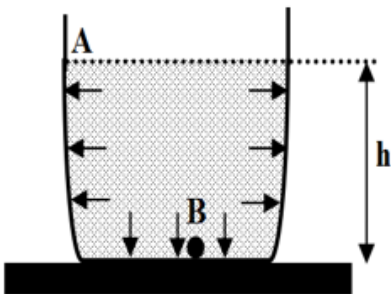
Massa jenis fluida merupakan parameter yang berkaitan dengan jumlah atau ukuran massa zat cair yang dikandung setiap satuan volume. Satuan massa jenis dapat dinyatakan dengan gram per sentimeter kubik dalam CGS atau kilogram per meter kubik (kg/m^3) dalam MKS. Massa jenis fluida umumnya diaplikasikan dalam aspek keteknikan, kimia dan fisika. Dalam kajian ilmu fisika, massa jenis fluida sangat berkaitan dengan analisis penentuan tekanan zat cair, aliran fluida, gaya apung.

Alat untuk mengukur massa jenis fluida adalah densimeter atau sering disebut pula sebagai alat piknometer. Alat piknometer berbentuk botol kaca yang ditutup dengan rapat dan volume botolnya sudah ditentukan sesuai ukurannya. Untuk menggunakan alat tersebut pada prinsipnya mengisi zat cair dengan volume tertentu kedalam botol kaca, kemudian dilakukan penimbangan bersama dengan penutupnya. Sedangkan untuk densimeter berbentuk dari bahan pipa kaca yang ujung bagian bawahnya diukur menggunakan timbangan. Cara penggunaannya untuk mengukur massa jenis fluida yaitu dilakukan pada bagian ujung bawah kaca dimasukkan kedalam fluida, kemudian membaca skala yang ditunjuk pada densimeter (Halliday, D., Resnick, R., dan Walker, J., 2014; Atkins & Paula, 2011).

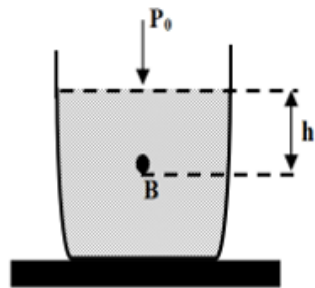
Massa jenis fluida dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur (suhu). Perubahan tekanan dan temperatur pada zat cair dapat memengaruhi sifat

titik didih dan viskositas (kekentalannya). Pada saat temperatur zat cair dinaikkan (mengalami kenaikan) maka partikel-partikel zat cair menjadi renggang sehingga massa jenisnya menurun, begitupun sebaliknya.

Misalkan dalam suatu wadah gelas kaca berisi zat cair, maka zat cairnya akan memberikan tekanan pada dinding-dinding wadah gelas (seperti ditunjukkan gambar 15.4), dengan parameter A sebagai luas penampang wadah yang diisi dengan zat cair (air) dengan ketinggian h, berat zat cair sebesar W dan volumenya sebesar V. Sedangkan pada gambar 15.5 tekanan dalam zat cair dipengaruhi oleh tekanan udara luar yang dinyatakan sebagai P_0 . Perhatikan kedua gambar di bawah ini.



Gambar 15.4: Tekanan zat cair dalam suatu wadah



Gambar 15.5: Tekanan hidrostatik dipengaruhi dari tekanan udara luar

Besar tekanan pada dasar wadah (titik B) dapat ditentukan menggunakan persamaan (15.1):

$$P_B = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{m \cdot g}{A}$$

Karena, $m = \rho \cdot V$ dan $V = h \cdot A$, maka $m = \rho \cdot h \cdot A$

Sehingga:

$$P_B = \frac{m \cdot g}{A} \Leftrightarrow P_B = \frac{\rho \cdot h \cdot A \cdot g}{A}$$

Dengan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2); ρ adalah massa jenis zat cair (kg/m^3) dan P_B adalah tekanan zat cair pada

$$P_B = \rho \cdot h \cdot g \quad (15.2)$$

Keterangan:

P adalah tekanan hidrostatis pada fluida (dalam Pascal atau N/m²)

ρ adalah massa jenis fluida (dalam kg/m³)

g adalah percepatan gravitasi (dalam m/s²)

h adalah kedalaman fluida dari titik acuan (dalam meter)

Apabila tekanan yang diberikan pada fluida tertutup dipengaruhi atau diperhitungkan oleh tekanan udara luar, maka tekanan total pada fluida tersebut adalah tekanan hidrostatis yang diberikan oleh fluida itu sendiri ditambah dengan tekanan atmosfer yang diberikan oleh udara di atas permukaan fluida tersebut. Tekanan atmosfer biasanya diabaikan pada kasus-kasus di mana fluida yang dipelajari memiliki kedalaman yang sangat kecil dibandingkan dengan ketinggian atmosfer (Young, & Freedman, 2014). Untuk menghitung tekanan atmosfer berlaku sebagai berikut:

$$P_o = P_{atm}$$

dengan P_o adalah tekanan atmosfer atau tekanan udara luar (dalam Pascal atau N/m²) dan P_{atm} adalah tekanan atmosfer standar pada permukaan laut (sekitar 101325 Pascal).

Dalam kasus di mana tekanan atmosfer perlu dipertimbangkan, tekanan total pada fluida di titik B adalah sebagai berikut:

$$P_{total} = P_o + P_{atm} \quad (15.3)$$

Dengan demikian, ketika menghitung tekanan pada fluida tertutup, perlu mempertimbangkan tekanan hidrostatis yang diberikan oleh fluida itu sendiri ditambah dengan tekanan atmosfer yang diberikan oleh udara di atas permukaan fluida tersebut.

Jadi tekanan di dalam zat cair yang tidak mengalir disebut *tekanan hidrostatis*. Fenomena ini dinyatakan dalam **hukum pokok hidrostatis**, yang berbunyi: *semua titik yang terletak pada suatu bidang datar di dalam zat cair yang sejenis memiliki tekanan yang sama*.

Perlu diperhatikan dengan hati-hati bahwa tekanan yang ditentukan

dengan persamaan (15.3) di atas merupakan *hidrostatik*, dimana kita *tidak memperhitungkan* tekanan atmosfer. Tekanan di suatu titik di dalam suatu fluida yang sebenarnya, disebut *tekanan absolut* (Giancoli, D. C., 2014), ditulis dengan rumus:

$$P_{\text{absolut}} = P_{\text{atmosfer}} + P_{\text{Hidrostatik}} = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h \quad (15.4)$$

dengan P_{atm} = tekanan atmosfer atau tekanan udara luar

Contoh Soal 15.1:

1. Sebuah wadah berisi air dengan luas dasar $0,4 \text{ m}^2$ dan ketinggian $1,5 \text{ m}$. Tentukan tekanan yang dihasilkan oleh air pada dasar wadah!

Jawaban:

Luas dasar wadah = $0,4 \text{ m}^2$

Ketinggian air = $1,5 \text{ m}$

Diketahui pula bahwa massa jenis air = 1000 kg/m^3 (nilai standar)

Tekanan pada dasar wadah dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 1,5 \text{ m}$$

$$P = 14.700 \text{ Pa atau } 14,7 \text{ kPa}$$

Jadi, tekanan yang dihasilkan oleh air pada dasar wadah adalah sebesar $14,7 \text{ kPa}$.

2. Sebuah ember berisi air dengan massa jenis 900 kg/m^3 dan kedalaman 50 cm . Seorang anak dengan berat 40 kg berdiri di atas ember tersebut. Hitunglah tekanan yang dihasilkan pada dasar ember!

Jawaban:

Massa jenis air = 900 kg/m^3

Kedalaman air = $50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$

Berat anak = 40 kg

Percepatan gravitasi = $9,8 \text{ m/s}^2$

Maka, tekanan pada dasar ember dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P = 900 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,5 \text{ m}$$

$$P = 4410 \text{ Pa atau } 4,41 \text{ kPa}$$

Jadi, tekanan yang dihasilkan pada dasar ember adalah 4410 Pa atau 4,41 kPa.

3. Sebuah bejana berisi air dengan kedalaman 2 meter. Hitunglah tekanan hidrostatik pada dasar bejana, jika tekanan atmosferik dianggap konstan sebesar 101,3 kPa.

Jawab: Kita dapat menggunakan rumus tekanan hidrostatik: $P = \rho \cdot g \cdot h$

Oleh karena itu, tekanan hidrostatik pada dasar bejana adalah:

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,81 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ m}) = 19620 \text{ Pa} = 19,62 \text{ kPa}$$

Maka tekanan hidrostatik pada dasar bejana adalah $19,62 \text{ kPa} + 101,3 \text{ kPa} = 120,92 \text{ kPa}$

4. Sebuah tangki silinder horizontal berisi minyak dengan massa jenis 900 kg/m^3 . Jika tangki tersebut memiliki diameter 2 meter dan panjang 4 meter, hitunglah gaya tekanan minyak pada dinding silinder.

Jawab:

Kita dapat menggunakan rumus gaya tekanan: $F = PA$. Dalam hal ini, P adalah tekanan fluida, A adalah luas permukaan dinding silinder, dan F adalah gaya tekanan yang diberikan pada dinding. Oleh karena itu, tekanan fluida pada dinding silinder adalah:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P = (900 \text{ kg/m}^3) \times (9,81 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ m})$$

$$P = 17640 \text{ Pa} = 17,64 \text{ kPa}$$

Luas permukaan dinding silinder adalah:

$$A = \pi \times r^2 \times L = \pi \times (1 \text{ m})^2 \times (4 \text{ m}) = 12,57 \text{ m}^2$$

Maka gaya tekanan minyak pada dinding silinder adalah:

$$F = (17,64 \text{ kPa}) \times (12,57 \text{ m}^2) = 221,8 \text{ kN}$$

Hukum Pascal dan Prinsip Archimedes

Konsep dan Penerapan Hukum Pascal

Hukum Pascal merupakan salah satu prinsip dasar dalam memahami konsep fisika fluida, yang menyatakan bahwa “tekanan yang diberikan pada sebuah zat cair dalam wadah tertutup akan merambat secara merata ke seluruh bagian zat cair dan dinding wadah tersebut”. Secara matematis, hukum Pascal dapat dirumuskan sebagai berikut: “tekanan yang diberikan pada sebuah zat cair dalam wadah tertutup akan merambat dengan sama kuat dan sama arah ke seluruh bagian zat cair dan ke dinding wadah, tanpa mengalami perubahan arah atau besar tekanan”. Hukum Pascal dapat diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari dan industri. Beberapa penerapan Hukum Pascal (Giancoli, D. C., 2014; Resnick & Halliday, 2017; Serway, & Jewett, 2014), adalah:

- a. Sistem hidrolik: Sistem hidrolik digunakan dalam mesin-mesin industri, kendaraan berat, dan alat-alat konstruksi. Hukum Pascal digunakan dalam sistem hidrolik untuk mengalirkan tekanan dari satu bagian ke bagian lainnya dengan cara menggerakkan fluida, misalnya, menggerakkan oli pada sistem rem mobil atau truk.
- b. Pengembangan alat medis: Hukum Pascal digunakan dalam pengembangan berbagai alat medis seperti respirator, tekanan darah, dan mesin dialisis. Hukum Pascal memungkinkan pengaturan tekanan dengan akurat dan dapat diterapkan pada sistem kecil yang sangat kompleks.
- c. Pengukuran tekanan: Hukum Pascal digunakan dalam pengukuran tekanan dengan menggunakan alat seperti manometer dan barometer. Alat-alat ini bekerja dengan prinsip bahwa tekanan yang diberikan pada cairan di dalam tabung akan merambat secara merata ke seluruh bagian cairan, sehingga tekanan yang diukur dapat direpresentasikan secara akurat.

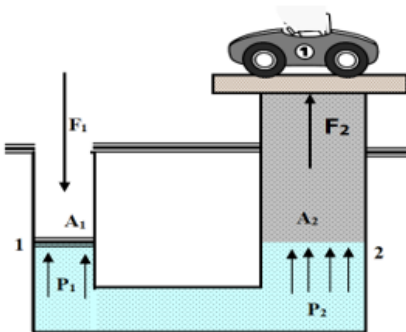
- d. Konstruksi bangunan: Hukum Pascal digunakan dalam konstruksi bangunan untuk mengukur tekanan udara pada konstruksi dan mengatur aliran udara melalui ventilasi. Hukum Pascal juga dapat diterapkan pada penggunaan beton yang dipaksa ke dalam area yang sulit dijangkau melalui alat yang dikenal sebagai pompa beton.
- e. Sistem pneumatik: Hukum Pascal juga dapat diterapkan dalam sistem pneumatik yang menggunakan udara bertekanan untuk menggerakkan mesin dan alat-alat industri. Sistem ini mengandalkan perambatan tekanan pada gas yang sama kuat dan sama arah ke seluruh bagian sistem, dan memanfaatkan perbedaan tekanan untuk menggerakkan alat atau mesin.
- f. Transportasi: Hukum Pascal digunakan dalam pengembangan mesin-mesin dan sistem transportasi seperti lift dan pesawat terbang. Hukum ini memungkinkan pengaturan tekanan udara pada mesin dan sistem transportasi untuk menghasilkan kekuatan yang lebih besar.

Hukum Pascal menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada sebuah fluida (cairan atau gas) yang tertutup akan merata ke seluruh bagian dari wadah tersebut. Sebagai contoh, mari kita lihat gambar sebuah wadah berisi air seperti tangki atau ember. Jika sebuah tekanan diberikan pada air dalam wadah ini, misalnya dengan menekan piston ke dalam wadah, maka tekanan ini akan merata ke seluruh bagian air dalam wadah, termasuk ke bagian atas, bawah, dan sisi wadah. Ini karena fluida tidak dapat dikompresi dan akan menyebar tekanan yang diberikan ke seluruh permukaannya. Hal yang sama terjadi pada gas dalam sebuah wadah tertutup. Jika sebuah tekanan diberikan pada gas, seperti saat kita mengembangkan ban sepeda dengan pompa, tekanan ini akan merata ke seluruh bagian gas dalam wadah. Ini karena molekul-molekul gas juga tidak dapat dikompresi dan akan menyebar tekanan ke seluruh bagian.



Gambar 15.6 : Pancaran air dari dalam bambu

Tekanan pada air dalam bambu diteruskan segala arah dengan sama besar. Dari hasil penyelidikan tersebut kemudian dikenal dengan hukum Pascal, yang bunyinya: **“Tekanan yang diberikan pada fluida dalam ruang tertutup akan diteruskan oleh fluida tersebut ke segala arah sama rata”** (Giancoli, D. C., 2014; Resnick & Halliday, 2017; Serway, & Jewett, 2014). Jika penghisap yang kecil dengan luas penampang A_1 ditekan dengan gaya F_1 akan menimbulkan tekanan P_1 pada zat cair. Menurut hukum Pascal besarnya tekanan pada penampang kecil (A_1) sama besar dengan tekanan pada penampang besar (A_2), sehingga bila kita perhatikan pada gambar 15.7 menunjukkan bahwa gaya tekan yang kecil dapat mengangkat dapat mengangkat beban yang berat (Tipler, 1998), sebagai berikut:



Sehingga dapat dituliskan:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (15.5)$$

Keterangan:

A_1 = luas penampang piston 1

A_2 = luas penampang piston 2.

F_1 = gaya yang dikerjakan piston 1

F_2 = gaya yang dikerjakan piston 2

Gambar 15.7: Peristiwa dongkrak hidrolik

Contoh Soal 15.2

Sebuah dongkrak hidrolik memiliki piston kecil dengan jari-jari 2 cm dan piston besar dengan jari-jari 20 cm. Tekanan hidrolik yang diberikan pada piston kecil adalah 100 N/cm². Berapa gaya yang dapat dihasilkan oleh piston besar jika tekanan hidrolik tetap sama?

Jawab:

Kita harus mencari dahulu luas penampang dari masing-masing piston dengan menggunakan rumus luas lingkaran:

$$A = \pi r^2$$

$$\text{Untuk piston kecil: } A_1 = \pi r_1^2 = \pi(2 \text{ cm})^2 = 12,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Untuk piston besar: } A_2 = \pi r_2^2 = \pi(20 \text{ cm})^2 = 1256,64 \text{ cm}^2$$

Karena tekanan hidrolik yang diberikan pada piston kecil dan piston besar sama, maka tekanan hidrolik pada kedua piston adalah 100 N/cm².

Dalam keadaan setimbang, tekanan pada kedua piston harus sama, maka dapat kita gunakan Hukum Pascal:

$$F_1 / A_1 = F_2 / A_2$$

Kita sudah diberikan nilai $A_1 = 12,57 \text{ cm}^2$ dan $A_2 = 1256,64 \text{ cm}^2$. Maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$F_2 = (A_2 / A_1) \times F_1$$

$$F_2 = (1256,64 \text{ cm}^2 / 12,57 \text{ cm}^2) \times 100 \text{ N/cm}^2$$

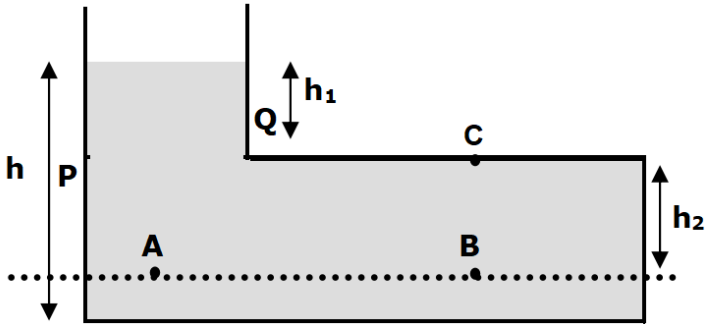
$$F_2 = 10.000 \text{ N}$$

Jadi, gaya yang dapat dihasilkan oleh piston besar adalah 10.000 N.

Hukum Utama Hidrostatika

Apabila bagian zat cair setinggi h_1 maka bejana itu menekan permukaan zat cair PQ (perhatikan gambar 10.8), maka besar tekanannya:

$$P_c = \rho \cdot g \cdot h_1 \quad (15.6)$$



Gambar 15.8 : Hukum utama hidrostatika

Gambar 15.8 di atas menunjukkan bejana yang diisi dengan zat cair. Pada titik C zat cair menekan di dinding ke atas, karena dinding tidak bergerak maka sebagai aksinya dinding menekan ke bawah. Besarnya tekanan di C = tekanan air setinggi h_1 , jadi tekanan di B adalah tekanan zat cair setinggi h_2 + tekanan di titik C.

$$P_B = \rho \cdot g \cdot h_2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \rho \cdot g \cdot (h_2 + h_1)$$

atau

$$P_B = \rho \cdot g \cdot h$$

Ternyata tekanan $P_A = P_B$, jadi titik yang terletak pada garis horizontal dalam satu jenis zat cair mempunyai tekanan yang sama, pernyataan ini dinamakan Hukum Utama Hidrostatika: **“Tekanan hidrostatika disembarang titik yang terletak pada bidang datar di dalam zat cair yang sejenis pada keadaan setimbang adalah sama”**. Menurut hukum utama Hidrostatika, bahwa pada titik keseimbangan pada sejenis zat cair mempunyai tekanan hidrostatika yang sama besar (Giancoli, D. C., 2014; Resnick & Halliday, 2017; Serway, & Jewett, 2014), maka:

$$P_A = P_B$$

$$\rho_A \cdot g \cdot h_A = \rho_B \cdot g \cdot h_B$$

$$\text{atau } \rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B \quad (15.7)$$

Contoh Soal 3:

Sebuah bejana berbentuk U diisi dengan air raksa ($\rho_{Hg} = 13,6 \text{ gr cm}^3$). Kemudian salah satu kakinya diisi dengan alkohol (massa jenisnya =

0,8 gr cm⁻³). Ternyata air raksa pada kaki tersebut turun 2 cm. Hitunglah tinggi alkohol yang dimasukkan pada bejana tersebut!

Jawab :

$$\rho_{Hg} = 13,6 \text{ gr cm}^{-3} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\rho_{alk} = 0,8 \text{ gr cm}^{-3} = 0,8 \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$h_A = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h_B = \dots\dots\dots?$$

$$h_B = \frac{\rho_{Hg} \cdot H_A}{\rho_{alk}} = \frac{(13,6 \cdot 10^3)(2 \cdot 10^{-2})}{0,8 \cdot 10^3}$$

$$h_B = 34 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 34 \text{ cm}$$

Konsep dan Penerapan Hukum Archimedes

Dalam kehidupan sehari-hari yang kita alami, apabila kita mengangkat sebuah balok di dalam kolam air, maka akan terasa ringan sewaktu berada dalam air, tetapi berat sewaktu berada di udara. Mengapa demikian? Hal ini karena ada gaya ke atas, maka ember dalam air akan berkurang sedang berat benda di udara adalah berat benda yang sebenarnya. Karena jika suatu benda dicelupkan ke dalam zat cair sebagian atau seluruhnya, maka benda ini akan mendapat gaya ke atas seberat zat cair yang dipindahkan. Hal ini dikemukakan oleh **Archimedes** bangsa Yunani yang hidup 2 abad sebelum masehi. Volume zat cair yang dipindahkan sama dengan volume benda yang dicelup (Giancoli, D. C., 2014; Resnick & Halliday, 2017; Serway, & Jewett, 2014). Berat benda zat cair yang dipindahkan.

$$w = V \cdot \rho \cdot g \tag{15.9}$$

Jadi, besarnya gaya ke atas (F_A) yang dialami oleh benda yang tercelup dalam zat cair dituliskan :

$$F_A = w = V \cdot \rho \cdot g$$

Berat benda di udara w_u = m.g

Berat benda dalam zat cair = berat benda di udara – gaya ke atas

$$w_c = w_b - F_A \tag{15.10}$$

dengan F_A = Gaya ke atas yang dialami benda (N), ρ = massa jenis zat cair (kg.m^{-3}), V = Volume benda yang tercelup dalam zat cair (m^3), g = percepatan gravitasi (m.s^{-2}), w_u = berat benda di udara (N) dan w_c = berat benda dalam zat cair (N)

Contoh Soal 10.3.

Suatu logam yang volumenya 50 cm^3 mempunyai massa jenis $9 \cdot 10^3$ terdapat dalam air yang massa jenisnya 10^3 kg.m^{-3} . Berapa berat logam dalam air bila ($g = 10 \text{ m.s}^{-2}$) ?

Jawab :

$$V_a = 50 \text{ cm}^3 = 50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho_c = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\rho_b = 9 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$g = 10 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\begin{aligned} w_u &= \rho_b \cdot g \cdot V_b \text{ (berat benda diudara)} \\ &= 9 \cdot 10 (10) \cdot (50 \cdot 10^{-6}) = 4,50 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya ke atas oleh air

Berat benda dalam air

$$F_A = \rho_c \cdot g \cdot V_b$$

$$w_c = w_u - F_A$$

$$\begin{aligned} F_A &= 10^3 \cdot (10) \cdot 50 \cdot 10^{-6} \\ &= 0,50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_c &= 4,50 - 0,50 \\ &= 4 \text{ N} \end{aligned}$$

Penerapan Hukum Archimedes Dalam Tekhnologi

- Kapal laut, mengapa kapal laut dapat terapung dalam air, meskipun kapal itu terbuat dari baja yang massa jenisnya lebih besar dari pada massa jenis air? Sebab kapal tersebut sengaja dibuat berongga sehingga berat kapal dengan muatannya sama dengan berat air yang dipindahkan oleh bagian kapal laut yang berada di bawah permukaan air.
- Galangan kapal, memiliki lapisan ganda pada setiap dindingnya, lapisan ini diisi air hingga tenggelam, kemudian kapal laut yang akan diperbaiki berada di atasnya. Setelah kedudukan kapal sudah tepat, air dalam galangan dipompa keluar hingga galangan akan naik ke permukaan dan kapal dapat terangkat.

- c. Hidrometer, yaitu alat untuk mengukur massa jenis atau zat cair. Alat ini terdiri dari pipa-pipa kaca yang sempit pada ujungnya dan bola karet, serta di dalamnya terdapat sebuah alat pengapung. Dengan alat ini orang dapat memeriksa muatan accu, makin besar muatan accu, makin besar massa jenis zat cair dalam accu. Jika muatannya besar, hanya sebagian kecil alat pengapung itu tenggelam dalam cairan. Sebaliknya jika muatan kecil, maka alat pengapung akan tenggelam seluruhnya dalam cairan.
- d. Manometer Pegas, manometer pegas termasuk manometer logam yang dipergunakan untuk mengukur tekanan udara dalam ban mobil dan sejenisnya.
- e. Pompa tekan Udara, pompa ini dipergunakan untuk menambah tekanan udara di dalam suatu ruang tertutup. Contohnya pompa sepeda untuk menambah tekanan udara di dalam ban sepeda atau ban mobil (Young & Freedman, 2014)

Daftar Pustaka

- Atkins, P., dan de Paula, J. (2011). *Atkins' Physical Chemistry (9th ed.)*. Oxford University Press. ISBN: 978-0-19-969740-3.
- Giancoli, D. C. (2014). *Physics: Principles with Applications (7th ed.)*. Pearson Education. ISBN: 978-0-321-89740-6.
- Halliday, D., Resnick, R., dan Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics (10th ed.)*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-1-118-23072-5.
- Hibbeler, R. C. (2012). *Engineering Mechanics: Statics (13th ed.)*. Pearson Education, Inc. ISBN: 978-0-13-291554-0.
- Resnick, R., dan Halliday, D. (2017). *Physics (10th ed.)*. Wiley. ISBN: 978-1-119-40750-5.
- Serway, R.A., dan Jewett Jr., J.W. (2013). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (9th ed.)*. Cengage Learning. ISBN: 978-1-133-95602-2.
- Serway, R. A., dan Jewett Jr., J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (9th ed.)*. Brooks/Cole Cengage Learning. ISBN: 978-1-133-95548-6.
- Tipler, P.A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Young, D. F. dan Freedman, R. A. (2014). *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics (14th ed.)*. Pearson Education, Inc. ISBN: 978-0-321-69686-1

Profil Penulis



Muh. Said L, S.Si., M. Pd

Lahir di Jeneponto, tepatnya tanggal 4 September 1983. Penulis menempuh Pendidikan mulai tingkat SD (1989-1995), SMP (1995-1998), SMA (1998-2001), S1 Fisika (2001-2005) dan S2 Pendidikan Fisika (2007-2009). Sejak tahun 2009 hingga sekarang, penulis aktif sebagai Pengajar di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. Penulis membidangi kepakaran dibidang Fisika Kebumihan, Energi dan Lingkungan dan bidang Pendidikan Fisika. Beberapa kegiatan tri darma perguruan tinggi telah aktif dilakukan antara lain dari bidang pengajaran aktif mengajar beberapa mata kuliah yaitu:

Metode Komputaai Fisika, Fisika Matematika, Instrumentasi, dan Fisika Eksperimen. Dari bidang penelitian dan publikasi ilmiah telah banyak dilakukan baik didanai oleh PT UIN Alauddin, maupun bersumber dari Kementerian Agama R.I. Penelitian yang dilakukan antara lain Identifikasi Zona Rawan Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Di Desa Pao Kecamatan Tombolo Pao Kabupaten Gowa (2022), Karakterisasi Sifat Fisis Papan Partikel Sabut Kelapa-Serat Pelelah Lontar (2021), Studi Analisis Koefisien Absorpsi Papan Akustik Pada Ketebalan Bervariasi Berbahan Dasar Limbah Kulit Jagung Dan Sabut Kelapa (Solusi Alternatif Ramah Lingkungan) (2020). Adapun publikasi ilmiah yang dihasilkan dalam bentuk Artikel Jurnal Terkreditasi dan Prosiding. Penulis juga telah aktif menulis karya ilmiah buku ber-ISBN. Buku yang terbit terakhir pada tahun 2022 adalah **TEKNIK ANALISIS DATA DAN RAMBAT RALAT EKSPERIMEN FISIKA DASAR (Mengasah Psikomotorik Melalui Keterampilan Menganalisis Data Percobaan Fisika)**. Sedangkan tridarma bidang Pengabdian kepada masyarakat juga telah aktif dilakukan perwujudan aktualisasi keilmuan ke masyarakat antara lain: Penerapan Alat Geolistrik Dalam Menentukan Struktur dan Lapisan Air Tanah (Aquifer) Bawah Permukaan di Desa Tino Kec. Tarowang Kab. Jeneponto (2022). Akhirnya karya prestasi ini, penulis dedikasikan kepada masyarakat, bangsa dan negara, semoga apa yang diraih menjadi bermanfaat untuk semuanya.

Email Penulis: muhammad.saidlanto@uin-alauddin.ac.id

Yunita Nur Afifah
Universitas Maarif Hasyim Latif

Konsep Umum Aliran Fluida

Konsep umum aliran fluida merujuk pada pergerakan zat cair atau gas, yang terjadi karena adanya gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Aliran fluida terjadi karena perbedaan tekanan pada fluida, dan dapat diamati dalam berbagai macam situasi, seperti aliran air dalam sungai, aliran udara di sekitar sayap pesawat, atau aliran darah dalam tubuh manusia.

Berikut adalah definisi aliran fluida menurut beberapa ahli beserta tahun:

1. Leonhard Euler (1757) - Aliran fluida adalah gerakan zarah-zarah fluida di sepanjang lintasan tertentu dalam suatu medium.
2. Claude-Louis Navier (1827) - Aliran fluida adalah pergerakan terus menerus dari suatu fluida dalam suatu medium yang didefinisikan oleh besarnya laju aliran dan kecepatan aliran.
3. George Gabriel Stokes (1845) - Aliran fluida adalah pergerakan suatu fluida yang mempertahankan bentuk dan volumenya, dan mengikuti prinsip kekekalan massa.
4. James Clerk Maxwell (1867) - Aliran fluida adalah gerakan zarah-zarah fluida yang berlangsung seiring waktu, yang mempertahankan bentuk dan volumenya, dan menurut prinsip kekekalan massa dan energi.
5. Osborne Reynolds (1883) - Aliran fluida adalah pergerakan zarah-zarah fluida yang tidak memiliki pola atau gerakan khusus, dan didefinisikan oleh bilangan Reynolds.

Secara umum, aliran fluida adalah pergerakan fluida dari satu tempat ke tempat lain dengan karakteristik tertentu, seperti kecepatan, tekanan,

dan viskositas. Definisi ini menjadi sangat penting dalam bidang teknik dan ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat dan perilaku fluida, seperti mekanika fluida dan termodinamika.

Salah satu sumber teori yang dikenal dalam aliran fluida adalah persamaan Navier-Stokes, yang diperkenalkan oleh Claude-Louis Navier dan George Gabriel Stokes pada tahun 1822 dan 1845, secara berturut-turut. Persamaan Navier-Stokes adalah persamaan diferensial parsial yang digunakan untuk menggambarkan pergerakan fluida dalam berbagai situasi, seperti dalam pipa, di sekitar benda padat, atau di sekitar sayap pesawat.

Persamaan Navier-Stokes memiliki dua bagian, yaitu persamaan kontinuitas yang menggambarkan kekekalan massa fluida, dan persamaan momentum yang menggambarkan kekekalan momentum fluida. Persamaan Navier-Stokes sangat penting dalam pemodelan aliran fluida, karena memungkinkan para ahli untuk memprediksi dan memahami perilaku fluida dalam situasi yang kompleks dan bervariasi.

Selain itu, terdapat juga konsep Bernoulli, yang diperkenalkan oleh Daniel Bernoulli pada tahun 1738. Konsep Bernoulli menjelaskan bahwa ketika aliran fluida melewati daerah yang menyempit, kecepatan fluida akan meningkat dan tekanan fluida akan menurun, serta sebaliknya ketika fluida melewati daerah yang melebar. Konsep Bernoulli telah digunakan untuk memahami dan mengoptimalkan desain banyak sistem dan mesin, seperti pipa dan saluran udara.

Kedua teori tersebut, yaitu persamaan Navier-Stokes dan konsep Bernoulli, merupakan dasar penting dalam studi aliran fluida dan telah banyak digunakan dalam pemodelan dan perancangan sistem dan mesin yang melibatkan aliran fluida.

- Jenis Aliran Fluida secara umum;

Terdapat dua jenis aliran fluida utama, yaitu:

1. Aliran Laminar Aliran laminar adalah aliran fluida yang mengalir dengan kecepatan yang relatif rendah dan teratur. Pada aliran ini, partikel-partikel fluida bergerak sejajar dengan satu sama lain, membentuk lapisan-lapisan yang rapi dan teratur. Aliran laminar juga dapat dianggap sebagai aliran yang tidak berubah seiring waktu, dengan kecepatan yang sama pada setiap titik di dalam aliran. Contoh aliran laminar adalah aliran air dalam pipa dengan kecepatan yang rendah.

2. Aliran Turbulen Aliran turbulent adalah aliran fluida yang mengalir dengan kecepatan tinggi dan tidak teratur. Pada aliran ini, partikel-partikel fluida bergerak dengan arah dan kecepatan yang berbeda-beda. Aliran ini cenderung berubah seiring waktu dan terdapat berbagai pusaran (vortex) yang terbentuk di dalamnya. Contoh aliran turbulent adalah aliran air di sungai yang mengalir deras.

Selain itu, ada juga aliran transisi, yaitu aliran yang memiliki sifat campuran antara aliran laminar dan turbulent. Pada aliran ini, partikel-partikel fluida dapat bergerak sejajar atau tidak sejajar satu sama lain, dan terdapat variasi kecepatan yang terjadi di dalam aliran. Contoh aliran transisi adalah aliran air di dalam pipa dengan kecepatan yang sedang.

- Menurut (Yunita,2016) dalam penelitiannya

Aliran fluida pada lapisan batas menurut perbandingan gaya-gaya inersia dengan viskositasnya secara garis besar terdiri dari tiga jenis aliran, yakni aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen (Widodo, 2012).

1. Aliran Laminar Pada aliran ini partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran ini terjadi apabila bilangan Reynolds kurang dari 500($Re < 500$) atau pada saat fluida bergerak dengan kecepatan kecil dan atau fluida memiliki viskositas (kekentalan) yang besar.
2. Aliran Transisi Aliran transisi adalah aliran yang terjadi antara aliran laminar dan turbulen. Terjadinya masa transisi antara aliran laminar dan turbulen disebabkan adanya perubahan viskositas dan kecepatan yang menyebabkan daya redam terhadap gangguan akan berkurang hingga batas tertentu. Aliran transisi terjadi apabila bilangan Reynolds antara 500 sampai 12.500($500 < Re < 12.500$).
3. Aliran Turbulen Aliran turbulen terjadi pada saat partikel-partikel zat cair bergerak secara acak atau tidak teratur. Aliran turbulen terjadi apabila bilangan Reynolds lebih dari 12.500($Re > 12.500$). Bilangan Reynolds untuk suatu aliran dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Re = \frac{V_s d}{\nu} = \frac{\rho V_s d}{\mu}$$

Re = bilangan Reynolds

V_s = kecepatan rata-rata aliran fluida pada benda (m/s)

d = panjang karakteristik (m)

ν = koefisien viskositas fluida (N/m²s) ρ = kerapatan (densitas) fluida (kg/m³)

μ = viskositas absolut fluida dinamis (N/m²s)

Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah sebuah prinsip dasar dalam fisika yang menggambarkan keterkaitan antara aliran massa atau volume fluida yang mengalir melalui sebuah pipa atau saluran. Prinsip ini menyatakan bahwa aliran massa atau volume fluida yang masuk ke dalam saluran harus sama dengan aliran massa atau volume fluida yang keluar dari saluran pada setiap titik di dalam saluran. Persamaan ini didasarkan pada hukum kekekalan massa, yang menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, dan hanya dapat diubah bentuknya.

Persamaan kontinuitas dinyatakan dalam bentuk matematis yang sederhana:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Di mana:

- A_1 adalah luas penampang pipa atau saluran pada titik masuk aliran
- A_2 adalah luas penampang pipa atau saluran pada titik keluar aliran
- V_1 adalah kecepatan fluida pada titik masuk aliran
- V_2 adalah kecepatan fluida pada titik keluar aliran

Persamaan ini menyatakan bahwa aliran massa atau volume fluida yang masuk ke dalam saluran harus sama dengan aliran massa atau volume fluida yang keluar dari saluran pada setiap titik di dalam saluran. Dalam kata lain, jika ada perubahan pada kecepatan fluida di suatu titik dalam

saluran, maka luas penampang saluran pada titik tersebut harus berubah untuk menjaga konservasi massa dan memastikan bahwa aliran fluida yang masuk sama dengan aliran fluida yang keluar.

Persamaan kontinuitas ini digunakan dalam berbagai aplikasi fisika, seperti dalam studi aliran fluida dalam pipa, sungai, atau pembuluh darah manusia. Dalam konteks teknik dan industri, persamaan ini juga digunakan dalam perancangan dan analisis sistem perpipaan, perancangan sistem pembuangan limbah, dan dalam pengembangan mesin fluida, seperti pompa dan turbin.

Dalam penggunaan praktis, persamaan kontinuitas dapat digunakan untuk menghitung laju aliran fluida dalam pipa atau saluran jika luas penampang pipa dan kecepatan fluida diketahui pada dua titik yang berbeda. Persamaan ini juga dapat digunakan untuk menentukan luas penampang pipa yang diperlukan untuk mencapai laju aliran yang diinginkan pada suatu kecepatan fluida yang diketahui.

Dalam kesimpulannya, persamaan kontinuitas adalah prinsip dasar dalam fisika yang menjelaskan hubungan antara aliran massa atau volume fluida yang masuk dan keluar dari suatu pipa atau saluran. Persamaan ini digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan industri untuk memahami dan menghitung aliran fluida, serta dalam pengembangan dan analisis sistem perpipaan, perancangan sistem pembuangan limbah, dan pengembangan mesin fluida.

Contoh Soal Persamaan Kontinuitas

Soal 1

Sebuah pipa dengan penampang berbentuk lingkaran memiliki diameter 5 cm pada titik masuknya dan diameter 2 cm pada titik keluarnya. Jika kecepatan fluida pada titik masuk adalah 2 m/s, berapa kecepatan fluida pada titik keluar pipa?

Pembahasan: Luas penampang pipa dapat dihitung dengan menggunakan rumus luas lingkaran, yaitu:

$$A = \pi r^2$$

Diameter pipa pada titik masuknya adalah 5 cm, sehingga jari-jarinya adalah 2,5 cm atau 0,025 m. Oleh karena itu, luas penampang pipa pada titik masuk dapat dihitung sebagai berikut:

$$A_1 = \pi(0,025m)^2$$

$$= 0,00196 m^2$$

Diameter pipa pada titik keluarnya adalah 2 cm, sehingga jari-jarinya adalah 1 cm atau 0,01 m. Oleh karena itu, luas penampang pipa pada titik keluar dapat dihitung sebagai berikut:

$$A_2 = \pi(0,01m)^2 = 0,000314 m^2$$

Diketahui bahwa kecepatan fluida pada titik masuk adalah 2 m/s. Persamaan kontinuitas dapat digunakan untuk menentukan kecepatan fluida pada titik keluar, yaitu:

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

Substitusi nilai yang diketahui ke dalam persamaan kontinuitas akan menghasilkan:

$$0,00196 m^2 \times 2 m/s = 0,000314 m^2 \times V_2$$

$$V_2 = (0,00196 m^2 \times 2 m/s) / 0,000314 m^2 = 12,47 m/s$$

Jadi, kecepatan fluida pada titik keluar pipa adalah 12,47 m/s.

Kesimpulan: Dalam soal ini, persamaan kontinuitas digunakan untuk menghitung kecepatan fluida pada titik keluar pipa yang memiliki penampang berbeda dengan titik masuknya. Dengan menggunakan rumus luas lingkaran dan persamaan kontinuitas, kecepatan fluida pada titik keluar dapat dihitung dengan mudah. Persamaan kontinuitas sangat penting dalam memahami aliran fluida dan digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan industri.

Soal 2

Sebuah pipa berdiameter 10 cm mengalirkan air dengan kecepatan 5 m/s. Jika pipa tersebut bercabang menjadi dua pipa dengan diameter masing-masing 6 cm dan 4 cm, berapa kecepatan air pada pipa dengan diameter 6 cm jika aliran air yang masuk sama dengan aliran air yang keluar?

Pembahasan 1: Luas penampang pipa dengan diameter 10 cm dapat dihitung menggunakan rumus luas lingkaran, yaitu:

$$A_1 = \pi r^2 = \pi(0,05 m)^2 = 0,00785 m^2$$

Untuk pipa dengan diameter 6 cm, luas penampangnya adalah:

$$A_2 = \pi r^2 = \pi(0,03 \text{ m})^2 = 0,00283 \text{ m}^2$$

Sementara itu, luas penampang pipa dengan diameter 4 cm adalah:

$$A_3 = \pi r^2 = \pi(0,02 \text{ m})^2 = 0,00126 \text{ m}^2$$

Diketahui bahwa aliran air yang masuk sama dengan aliran air yang keluar, sehingga menggunakan persamaan kontinuitas, didapat:

$$A_1V_1 = A_2V_2 + A_3V_3$$

Substitusi nilai yang diketahui ke dalam persamaan kontinuitas:

$$0,00785 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/s} = 0,00283 \text{ m}^2 \times V_2 + 0,00126 \text{ m}^2 \times V_3$$

$$V_2 = (0,00785 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/s} - 0,00126 \text{ m}^2 \times V_3) / 0,00283 \text{ m}^2$$

Untuk mengetahui kecepatan air pada pipa dengan diameter 6 cm, nilai kecepatan pada pipa dengan diameter 4 cm harus diketahui terlebih dahulu. Jika diasumsikan aliran air keluar dari cabang pipa dengan kecepatan yang sama dengan aliran air yang masuk, maka:

$$V_3 = V_1 = 5 \text{ m/s}$$

Substitusi nilai kecepatan ini ke dalam persamaan kontinuitas, maka:

$$V_2 = (0,00785 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/s} - 0,00126 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/s}) / 0,00283 \text{ m}^2$$

$$V_2 = 10,74 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan air pada pipa dengan diameter 6 cm adalah 10,74 m/s.

Konsep Viskositas

Viskositas adalah besaran fisika yang digunakan untuk mengukur ketahanan fluida terhadap pergerakan relatif antara partikel-partikel fluida yang saling bersentuhan. Viskositas dapat dianggap sebagai "kekentalan" fluida, yaitu kemampuan fluida untuk mengalir dan merespon tegangan yang diberikan. Viskositas juga dapat diartikan sebagai gaya gesekan dalam fluida yang menentang gerakan partikel-partikel fluida.

Menurut (Yunita, 2016) Viskositas adalah ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, makin sulit fluida mengalir dan makin sulit suatu benda untuk bergerak dalam fluida tersebut. Oleh karena itu, viskositas dari suatu fluida dapat menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir dan dapat digunakan untuk menganalisa pengukuran

dari pergeseran suatu fluida. Viskositas zat cair secara umum berkurang sejalan dengan peningkatan suhu. Sedangkan viskositas gas secara umum bertambah sejalan dengan peningkatan suhu. Hal ini dapat dikatakan bahwa Viskositas zat cair berbanding terbalik dengan suhu zat, sedangkan viskositas gas berbanding lurus dengan suhu suatu zat. Semua fluida (kecuali superfluida) memiliki ketahanan dari tekanan sehingga disebut kental, tetapi fluida yang tidak memiliki ketahanan tekanan dan tegangan disebut fluida ideal.

Rumus viskositas dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan Newton, yaitu:

$$\tau = \eta(du/dy)$$

dimana τ adalah tegangan geser, η adalah viskositas, u adalah kecepatan fluida sepanjang sumbu y , dan y adalah jarak dari permukaan benda terhadap fluida.

Dalam persamaan ini, tegangan geser dihasilkan oleh perbedaan kecepatan di antara lapisan-lapisan fluida yang saling berdekatan. Semakin besar perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan, semakin besar tegangan geser yang terjadi dan semakin besar pula viskositasnya.

Viskositas juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Poiseuille untuk aliran laminar melalui pipa silinder:

$$Q = (\pi \Delta p r^4) / (8 \eta L)$$

dimana Q adalah laju aliran, Δp adalah perbedaan tekanan antara kedua ujung pipa, r adalah jari-jari pipa, η adalah viskositas, dan L adalah panjang pipa.

Dalam persamaan ini, laju aliran dipengaruhi oleh perbedaan tekanan di antara kedua ujung pipa, jari-jari pipa, panjang pipa, dan viskositas fluida. Semakin besar viskositas fluida, semakin kecil laju aliran fluida melalui pipa.

Contoh Soal dan Pembahasan

Soal 1

Soal: Sebuah bola logam dengan diameter 10 cm tenggelam dalam minyak dengan kecepatan 0,2 m/s. Jika viskositas minyak adalah 0,1 Pa.s, berapa gaya hambat yang dirasakan oleh bola logam?

Pembahasan: Kita dapat menggunakan hukum Stokes untuk menghitung gaya hambat pada bola logam yang tenggelam dalam minyak:

$$F = 6\pi\eta rv$$

dimana F adalah gaya hambat, η adalah viskositas fluida, r adalah jari-jari bola, dan v adalah kecepatan bola.

Maka, substitusi nilai yang diberikan dalam soal:

$$r = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m} \quad v = 0,2 \text{ m/s} \quad \eta = 0,1 \text{ Pa.s}$$

$$F = 6\pi(0,1)(0,05)(0,2) = 0,0188 \text{ N}$$

Jadi, gaya hambat yang dirasakan oleh bola logam adalah 0,0188 N.

Soal: Sebuah tabung dengan diameter dalam 2 cm dan tinggi 20 cm berisi oli dengan viskositas 0,5 Pa.s. Jika gaya yang diperlukan untuk menarik piston di dalam tabung adalah 50 N, berapa laju aliran oli melalui tabung?

Pembahasan: Kita dapat menggunakan persamaan Poiseuille untuk menghitung laju aliran oli melalui tabung:

$$Q = (\pi\Delta p r^4)/(8\eta L)$$

dimana Q adalah laju aliran, Δp adalah perbedaan tekanan antara kedua ujung tabung, r adalah jari-jari tabung, η adalah viskositas, dan L adalah panjang tabung.

Dalam soal ini, kita tidak diberikan nilai perbedaan tekanan Δp . Namun, kita diberikan gaya yang diperlukan untuk menarik piston, sehingga dapat dihitung tekanan di dalam tabung:

$$P = F/A$$

dimana P adalah tekanan, F adalah gaya, dan A adalah luas penampang tabung.

Substitusi nilai yang diberikan dalam soal:

$$r = 0,01 \text{ m} \quad \eta = 0,5 \text{ Pa.s} \quad L = 0,2 \text{ m} \quad F = 50 \text{ N} \quad A = \pi r^2 = \pi(0,01)^2 = 0,000314 \text{ m}^2$$

Maka, tekanan di dalam tabung adalah:

$$P = F/A = 50/0,000314 = 159236,9 \text{ Pa}$$

Substitusi nilai tekanan dan jari-jari tabung ke dalam persamaan Poiseuille:

$$Q = (\pi \Delta p r^4) / (8 \eta L) = (\pi (159236,9) (0,01)^4) / (8 (0,5) (0,2)) = 0,157 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi, laju aliran oli melalui tabung adalah $0,157 \text{ m}^3/\text{s}$.

Daftar Pustaka

- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). Fluid mechanics: Fundamentals and applications. McGraw-Hill Education.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2013). Fundamentals of fluid mechanics (7th ed.). John Wiley & Sons.
- White, F. M. (2016). Fluid mechanics (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2011). Introduction to fluid mechanics (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Afifah, Y. N. (2016). Aliran Tak Tunak Fluida Nano Magnetohidrodinamik (MHD) Yang Melewati Bola Teriris.

Profil Penulis



Ir. Yunita Nur Afifah, S.Pd., M.Si

Matematika dijuluki *Mother of Science* membuat penulis memiliki ketertarikan lebih akan aplikasi matematika dalam semua bidang, seperti Teknik, Kedokteran, dst. Benar saja matematika ada di setiap kehidupan sehari-hari manusia. Setelah lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) pada tahun 2009 penulis melanjutkan Study Jurusan Pendidikan Matematika di Universitas Adi Buana Surabaya (UNIPA Surabaya) sambil mengajar dan menjadi guru privat di Mata Pelajaran Matematika, kemudian lulus tahun 2014. Setelah itu penulis melanjutkan Study S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) di Surabaya di jurusan Matematika dengan bidang Pemodelan Matematika khususnya terkait Fluida dan lulus tahun 2016. Selanjutnya pada tahun 2017 penulis menjadi dosen di Universitas Maarif Hasyim Latif (UMAHA) dengan *Homebase* Fakultas Teknik Program Studi S1 Teknik Mesin dan mengampu Matakuliah Kalkulus, Matematika, Matematika Rekayasa, dan Mekanika Fluida. Penulis menjadi juga menjadi Project Manager di CV. Arkana Teknologi Indonesia tahun 2017 hingga sekarang. Pada tahun 2022 Penulis mengikuti Profesi Insinyur (Ir) di Universitas Brawijaya lulus pada tahun 2023 dan di tahun yang sama mendapatkan Beasiswa Pemerintah untuk melanjutkan Studi Doktor di Universitas Airlangga Jurusan S3 MIPA Matematika. Fokus bidang Matematika Terapan yang dapat di aplikasikan dalam dunia Teknik terutama Teknik Mesin yang berkaitan erat dengan Fluida yaitu pengembangan Model Matematika tentang Fluida Nano.

Penulis selama ini telah melakukan Tridharma Perguruan Tinggi seperti Pengajaran, Penelitian, dan Pengabdian. Selain hal tersebut, Penulis juga aktif dalam menulis buku seperti Buku Teknologi Tepat Guna (TTG) serta buku lainnya. Membuat kontribusi untuk negara melalui Pendidikan menjadi bukti penulis akan bakti untuk negeri Indonesia untuk menjadikan generasi unggul di masa depan.

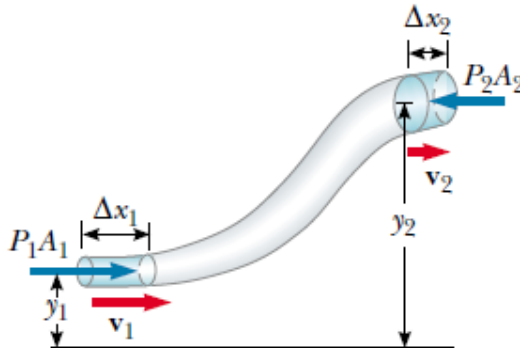
Email Penulis: yunita@dosen.umaha.ac.id

PERSAMAAN BERNOULLI

Erwinda Fenty Anggraeni
Universitas Teknoogi Yogyakarta

Penerapan Prinsip Bernoulli dan Torricelli

Giancolli (2005) menyatakan bahwa inti dari prinsip Bernoulli adalah apabila kecepatan fluida tinggi maka tekanannya rendah, sebaliknya jika kecepatan fluida rendah maka tekanannya tinggi.



Gambar 17.1. Aliran fluida: untuk penurunan persamaan Bernoulli (Halliday, 2004)

Berdasarkan Gambar 17.1 dapat kita uraikan usaha total, perubahan energi kinetik, dan perubahan energi potensialnya.

Usaha total oleh fluida: $W = (P_1 - P_2)V$

Perubahan energi kinetik: $\Delta Ek = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

Perubahan energi potensial: $\Delta Ep = mgy_2 - mgy_1$

Berdasarkan hukum kekekalan energi, maka diperoleh:

$$W = \Delta Ek + \Delta Ep$$

$$(P_1 - P_2)V = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1$$

$$P_1V + \frac{1}{2}m v_1^2 + mgy_1 = P_2V + \frac{1}{2}m v_2^2 + mgy_2$$

Selanjutnya dibagi dengan V , ingat bahwa $\rho = m/V$ sehingga prinsip Bernoulli secara matematis adalah:

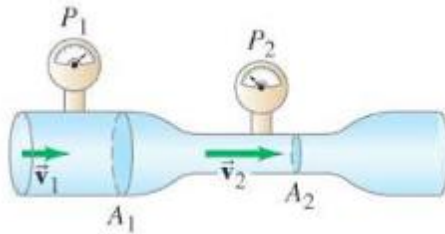
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gy_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gy_2 \quad \dots (17.1)$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{konstan}$$

Penerapan prinsip Bernoulli antara lain pada venturimeter, gaya angkat pesawat, dan tangki berlubang.

Penerapan prinsip Bernoulli pada venturimeter

Venturimeter adalah alat untuk mengukur laju cairan dalam pipa. Pada dasarnya, tabung venturi ini merupakan sebuah pipa dimana bagian tengah pipa tersebut menyempit. Contohnya venturimeter yang digunakan untuk mengukur laju aliran minyak pada pipa penyalur minyak dari tempat pengilangan ke kapal tangker pelabuhan.



Gambar 17.2. Venturimeter (Giancoli, 2005)

Gambar 17.2 merupakan ilustrasi dari venturimeter yang menunjukkan bahwa pada pipa besar mempunyai tekanan $P_1 > P_2$ pada pipa kecil. Hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan kecepatan aliran karena adanya penyempitan luas penampang pipa sehingga $v_1 < v_2$. Peningkatan kecepatan aliran pada pipa kecil menyebabkan terjadinya penurunan tekanan. Selanjutnya perbedaan tekanan dari kedua pipa ini dapat digunakan untuk mengukur kelajuan aliran fluida. Gambar 17.3 adalah venturimeter yang sudah terinstalasi.



Gambar 17.3. Tabung venturi (kiri) dan instalasi venturimeter (kanan)
 Sumber: <https://www.pipingengineer.org/ventury-flow-meter-piping/>

Untuk mengukur laju aliran fluida dapat kita terapkan menggunakan prinsip Bernoulli pada pipa berukuran besar dan ukuran kecil. Oleh karena posisi pipa ini horizontal atau mendatar, maka ketinggian dapat ditetapkan $y_1 = y_2$, sehingga prinsip Bernoulli (pers. 17.1) menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad \dots (17.2)$$

Dari persamaan kontinuitas : $A_1 v_1 = A_2 v_2$ kita peroleh:

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2 \quad \dots (17.3)$$

Sehingga persamaannya menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 v_2^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\frac{1}{2} \rho \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 = P_2 - P_1$$

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right] = P_2 - P_1$$

$$v_2^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right]} \quad \dots (17.4)$$

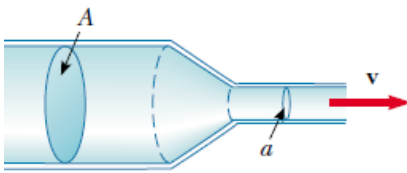
Berdasar persamaan (17.4) dapat kita lihat bahwa laju aliran fluida bisa diukur dengan mengetahui perbedaan tekanan pada dua pipa pada luas penampang yang berbeda.

Contoh soal

Sebuah pipa venturi digunakan untuk mengukur laju fluida, dimana luas penampang pipa besar = 0,1 m² dan luas penampang pipa kecil = 0,05 m². Jika massa jenis zat 1300 kg/m³ dan $P_1 - P_2 = 130$ Pa. Berapakah laju aliran fluida tersebut?

Diketahui:

Ilustrasi:



$$A_1 = 0,1 \text{ m}^2$$

$$A_2 = a = 0,05 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$$

$$P_1 - P_2 = 130 \text{ Pa} \leftrightarrow P_2 - P_1 = -130 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = -130 \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2}$$

$$= -130 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Penyelesaian:

$$v_2^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right]} = \frac{2 \left(-130 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \right)}{\left(1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left[\left(\frac{0,05 \text{ m}^2}{0,1 \text{ m}^2} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$= \frac{-260}{1300 (-0,75)}$$

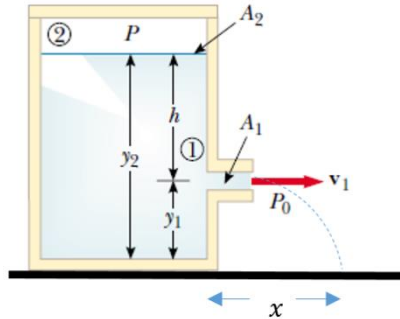
$$v_2^2 = \frac{-260}{-975} = 0,267 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_2 = \sqrt{0,267 \text{ m}^2/\text{s}^2} \approx 0,517 \text{ m/s}$$

Jadi laju aliran fluida tersebut adalah 0,517 m/s.

Penerapan prinsip Bernoulli pada tangki berlubang (Teorema Torricelli)

Penerapan prinsip Bernoulli pada tangki berlubang diilustrasikan Gambar 17.4. Pada tangki berlubang tersebut tampak bahwa luas penampang pada lubang sangat kecil atau kita anggap $A_2 \gg A_1$. Kecepatan penurunan permukaan fluida pada kondisi 2 sangat pelan atau $v_2 \ll v_1$ dan bisa dituliskan $v_2 = 0$. Sedangkan tekanan pada lubang sama dengan tekanan atmosfer $P_1 = P_0$, sehingga persamaan Bernoulli menjadi:



Gambar 17.4. Tangki berisi zat cair yang dindingnya berlubang

Zat cair pada kondisi 1 (lubang) = zat cair pada kondisi 2 (tangki)

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$P_0 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P + \rho g y_2 \quad \dots (17.5)$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = P - P_0 + \rho g(y_2 - y_1)$$

Dimana $h = y_2 - y_1$, maka:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P - P_0 + \rho g h)}{\rho}}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P - P_0)}{\rho} + 2 g h} \quad \dots (17.6)$$

Jika kondisi tangki terbuka ke atmosfer, maka tekanan pada permukaan fluida sama dengan tekanan pada lubang atau $P = P_0$ dan v_1 menjadi:

$$v_1 = \sqrt{2 g h} \quad \dots (17.7)$$

Persamaan $v_1 = \sqrt{2 g h}$ merupakan persamaan dari teorema Torricelli.

Untuk mencari jarak maksimum dari pancaran fluida x adalah:

$$x = 2\sqrt{h y_1} \quad \dots (17.8)$$

Teorema Torricelli hanya berlaku jika ujung atas tangki/ wadah terbuka terhadap atmosfer dan luas lubang lebih kecil dari luas penampang tangki itu sendiri.

Contoh soal

Sebuah bak berisi air pada dindingnya terdapat sebuah kran. Ketinggian air di dalam bak 85 cm, sedangkan kran terletak 40 cm dari bawah permukaan bak. Hitung kecepatan semburan air yang keluar dan jarak maksimum semburan air kran!

Diketahui:

$$y_2 = 85 \text{ cm}$$

$$y_1 = 40 \text{ cm}$$

$$h = y_2 - y_1 = (85 - 40) \text{ cm} = 45 \text{ cm} = 0,45 \text{ m}$$

Ditanya: kecepatan v_1 dan jarak maksimum x semburan air

Penyelesaian:

Kecepatan semburan air kran:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(10 \text{ m/s}^2)(0,45 \text{ m})} = \sqrt{9 \text{ m}^2/\text{s}^2} = 3 \text{ m/s}$$

Jarak maksimum semburan air kran:

$$x = 2\sqrt{hy_1} = 2\sqrt{(0,45 \text{ m})(0,85 \text{ m})} = 2\sqrt{0,3825 \text{ m}^2} \approx 1,24 \text{ m}$$

Jadi kecepatan semburan air yang keluar adalah 3 m/s dan jarak maksimum semburan air kran sejauh 1,24 m

Tegangan Permukaan dan Kapilaritas

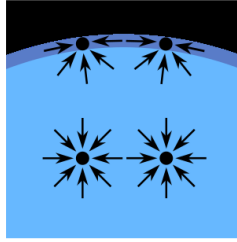
Fenomena fisis yang sering kita lihat dalam kehidupan sehari-hari mengenai tegangan permukaan adalah serangga yang berada di atas permukaan air dan penjepit kertas di atas permukaan air seperti pada Gambar 17.5.



Gambar 17.5. Penjepit kertas dan serangga di permukaan air

Sumber: <https://www.usgs.gov/>

Tegangan permukaan (*surface tension*) didefinisikan sebagai kecenderungan zat cair untuk menegang, sehingga pada permukaannya membentuk semacam lapisan tipis yang elastis. Gaya tegang suatu cairan ini berhubungan dengan garis gaya yang dimiliki zat cair tersebut. Tegangan permukaan terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar molekul pada zat cair. Adhesi didefinisikan sebagai gaya tarik-menarik antar molekul-molekul yang berbeda jenis, sedangkan kohesi adalah gaya tarik-menarik antar molekul-molekul yang sejenis.



Gambar 17.6. Gaya kohesi pada air (Jumini, 2015)

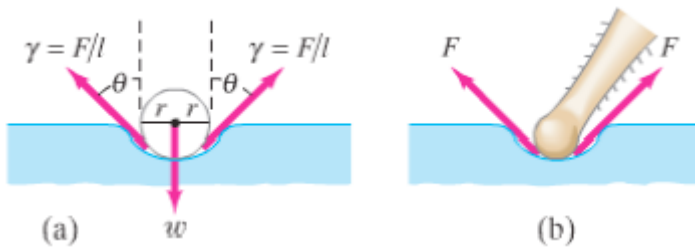
Gambar 17.6 merupakan ilustrasi gaya kohesi pada air. Berdasarkan Gambar 17.6 terlihat bahwa di dalam air terjadi interaksi gaya tarik menarik sesama molekul air (kohesi) ke segala arah sehingga gayanya seimbang dan resultan gayanya nol. Pada permukaan air, gaya molekul sejenis (air dengan air) hanya terjadi di bawah permukaan air sedangkan di atas permukaan air terjadi interaksi molekul air dengan udara (adhesi), namun gaya adhesinya lebih kecil dibandingkan gaya kohesinya. Kondisi ini menyebabkan total gaya di permukaan air menjadi tidak seimbang. Karena gaya kohesi di bawah permukaan air lebih besar dibandingkan dengan gaya adhesi di atas permukaan air akibatnya permukaan zat cair cenderung tertarik ke arah bawah (gaya total yang arahnya ke bawah), cairan yang berada di permukaan cenderung memperkecil luas permukaannya yang menyusut sekuat mungkin yang membuat permukaan zat cair dalam keadaan tegang atau disebut sebagai tegangan permukaan (Jumini, 2015).

Besarnya tegangan permukaan dipengaruhi oleh besarnya gaya F dan panjang permukaan L , sehingga tegangan permukaan dapat dirumuskan:

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad \dots (17.9)$$

dengan:

- γ = tegangan permukaan (N/m)
- F = Gaya tegangan permukaan (N)
- L = panjang permukaan (m)



Gambar 17.7. Tegangan permukaan yang bekerja pada (a) bola, dan (b) serangga
(Giancoli, 2005)

Peristiwa pada Gambar 17.7. merupakan tegangan permukaan yang bekerja pada bola dan serangga. Ternyata bola dan kaki serangga tidak tercelup ke dalam air, hal ini dikarenakan saat benda berada di permukaan zat cair terdapat gaya berat w dari benda itu sendiri sedangkan molekul di bawah permukaan zat cair yang mempunyai gaya F ke bawah memberikan gaya pemulih F ke arah atas. Selama gaya pemulih lebih besar daripada gaya berat benda, maka tegangan permukaan masih mampu menopang berat benda di atasnya dan benda tidak tercelup ke dalam zat cair. Nilai tegangan permukaan beberapa jenis zat disajikan pada Tabel 17.1.

Tabel 17.1. Nilai tegangan permukaan beberapa zat (Giancoli, 2005)

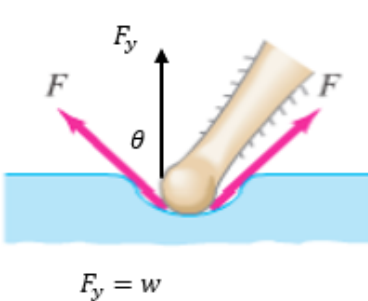
Jenis Zat	Suhu (°C)	Tegangan permukaan (N/m)
Raksa	20	0,44
Darah (seluruhnya)	37	0,058
Darah (plasma)	37	0,073
Alkohol	20	0,023
Air	0	0,076
Air	20	0,072
Air	100	0,059
Benzena	20	0,029
Larutan sabun	20	≈0,025
Oksigen	-193	0,016

Contoh soal

Serangga berjalan di atas air dimana diketahui pangkal kaki serangga kira-kira berbentuk bulat, dengan radius sekitar $(2 \cdot 10^{-5})$ m. Massa 0,003 gram serangga ditopang secara merata oleh keenam kakinya. Tentukan perkiraan sudut θ pada kaki serangga di permukaan air. Asumsikan bahwa suhu air 20°C .

Diketahui:

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,072 \text{ N/m} = 72 \cdot 10^{-3} \text{ N/m (pada suhu } 20^\circ\text{C)} \\ m &= 0,003 \text{ gram} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ kg (ditopang keenam kakinya)} \\ g &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ r &= 2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \end{aligned}$$



$$\gamma = \frac{F_y \cos \theta}{L}$$

$$F_y = L \cos \theta \gamma$$

$$F_y = 2 \pi r \cos \theta \gamma$$

($L = 2\pi r$, karena kaki serangga bulat)

Ditanya: perkiraan sudut θ ?

Penyelesaian:

$$F_y = w$$

$$2\pi r \cos \theta \gamma = \frac{1}{6} m g$$

$$2(3,14)(2 \cdot 10^{-5})(72 \cdot 10^{-3}) \cos \theta = \frac{1}{6} (3 \cdot 10^{-6})(9,8)$$

$$(904,32 \cdot 10^{-8}) \cos \theta = 4,9 \cdot 10^{-6}$$

$$\cos \theta = \frac{4,9 \cdot 10^{-6}}{904,32 \cdot 10^{-8}} = 0,54$$

$$\theta \approx 57^\circ$$

Jadi perkiraan sudut kaki serangga di permukaan air adalah $\theta = 57^\circ$.

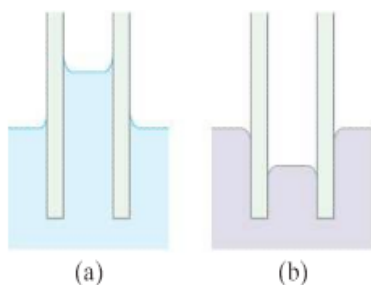
(Jika $\cos \theta$ bernilai lebih besar dari 1, maka tegangan permukaan tidak akan cukup besar untuk menopang berat serangga).

Penelitian mengenai alat *surface tension* sudah pernah dilakukan menggunakan beberapa metode. Salah satunya penelitian yang memanfaatkan fenomena kapilaritas cairan untuk menganalisis tegangan permukaannya (Ali *et al*, 2022).

Kapilaritas sering kita lihat di sekitar kita, misalnya pada air yang merambat melalui tisu atau kain. Kapilaritas didefinisikan sebagai gejala naik turunnya zat cair melalui celah sempit (pipa kapiler). Pipa kapiler adalah pipa yang mempunyai ukuran diameter sangat kecil. Penyebab terjadinya kapilaritas adalah adanya adhesi dan kohesi.

Gambar 17.8 (a) adalah sebuah pipa kapiler yang dimasukkan ke dalam tabung yang berisi air, di dalam pipa kapiler tersebut tampak bahwa terjadi kenaikan permukaan air dimana permukaannya berbentuk cekung. Hal ini terjadi karena adhesi $>$ kohesi, artinya gaya tarik menarik antara molekul-molekul air dengan dinding kaca pipa kapiler itu lebih besar daripada gaya tarik-menarik antara molekul-molekul air itu sendiri, akibatnya bentuk permukaan air dalam pipa kapiler berbentuk cekung atau lebih dikenal dengan istilah meniskus cekung.

Gambar 17.8 (b) adalah sebuah pipa kapiler yang dimasukkan ke dalam tabung yang berisi raksa, di dalam pipa kapiler tersebut terjadi penurunan permukaan raksa, yang mana permukaannya berbentuk cembung. Hal ini terjadi karena adhesi $<$ kohesi, artinya gaya tarik-menarik antara molekul-molekul raksa lebih besar daripada gaya tarik menarik antara molekul-molekul raksa dengan dinding kaca pipa kapiler, akibatnya bentuk permukaan zat cair dalam pipa kapiler berbentuk cembung atau lebih dikenal dengan istilah meniskus cembung.



Gambar 17.8. Pipa kapiler (a) di dalam air dan (b) di dalam raksa

Kenaikan atau penurunan zat cair dalam pipa kapiler secara matematis adalah:

$$h = \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho g r} \quad \dots (17.10)$$

dimana:

h	= kenaikan/ penurunan zat cair dalam pipa kapiler	(m)
γ	= tegangan permukaan	(N/m)
θ	= sudut kontak	(derajat)
ρ	= massa jenis zat cair	(kg/m ³)
g	= percepatan gravitasi	(m/s ²)
r	= jari-jari pipa kapiler	(m)

Contoh Soal

Air yang bermassa jenis 1000 kg/m³ dimasukkan ke dalam bejana. Pipa kapiler yang berdiameter 4 mm dimasukkan ke dalam air. Tegangan permukaan air 0,07 N/m dan sudut kontaknya dengan dinding pipa 60°. Hitung kenaikan air dalam pipa kapiler!

Diketahui:

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,072 \text{ N/m} = 72 \cdot 10^{-3} \text{ N/m} \\ \theta &= 60^\circ \\ \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ r &= \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ mm} = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya: kenaikan pipa kapiler h ?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} h &= \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho g r} \\ h &= \frac{2 (72 \cdot 10^{-3}) \cos 60^\circ}{(1000) (10) (2 \cdot 10^{-3})} = \frac{(72 \cdot 10^{-3})(0,5)}{10} = 0,0036 \text{ m} \\ &= 3,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi kenaikan pipa kapiler sebesar 3,6 mm.

Daftar Pustaka

- Abidin, K. & Wagiani, S. (2013). Studi Analisis Perbandingan Kecepatanaliran Air Melalui Pipa Venturi dengan Perbedaan Diameter Pipa. *Jurnal Dinamika*, 4 (1), 62 – 78.
- Ali, M., Ikbal, M.S. & Jusman. (2022). *Determining the Surface Tension of a Liquid and the Drop Comparison Method*. *Jurnal Pendidikan Fisika UIN Alauiddin Makasar*, 11(1), 143-150.
- Giancoli, D.C. (2005). *Physics: Principles with Applications sixth edition*. USA: Pearson Education, Inc.
- Fitriyah, Q., Setyawan, A.A.D., & Eko W, M.P. (2020). Aplikasi Hukum Bernoulli pada Alat Peraga Flow Meter untuk Praktikum Mekanika Fluida. *Prosiding Seminar Nasional NCIET, Vol.1, B277-B285*
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2004) . *Fundamentals of Physics (6th ed.)*. New York : John Wiley and Sons.
- Indarniati, & Ermawati, F. U. (2008). Perancangan Alat Ukur Tegangan Permukaan dengan Induksi Elektromagnetik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, (4), 1-4.
- Jumini, S. (2015). Pengaruh Tegangan Permukaan di Selat Gibraltar Berdasarkan Surat Arrahman Ayat 19-20. *Jurnal PPKM II*, 106-113.
- Nurhayati, Samita, M., & Harahap, S. (2021). Studi Analisis Perbandingan Tekanan melalui Pipa Venturi dengan Perbedaan Diameter Pipa. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*, 2 (2), 62-65.
- Yohana, E., dkk. (2013). Studi Eksperimental Aliran Campuran Air-*Crude Oil* Melewati Pipa Pengecilan Mendadak Horizontal Berpenampang Lingkaran. *Prosiding SNST ke-4 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim*, 38-44.

Profil Penulis



Erwinda Fenty Anggraeni, S.Pd.Si., M.Sc

Penulis kelahiran Grobogan tahun 1988 ini mempunyai ketertarikan dibidang sains dan matematika dimulai di bangku SMA. Penulis telah menempuh pendidikan di Universitas Negeri Yogyakarta Prodi Pendidikan Fisika, kemudian melanjutkan pendidikan S2 Ilmu Fisika di Universitas Gadjah Mada. Sejak tahun 2016, penulis aktif sebagai pengajar di Universitas Teknologi Yogyakarta.

Penulis memiliki kepakaran di bidang pendidikan fisika dan geofisika khususnya kegempaan. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Bekerjasama dengan Pusat Survei Geologi Bandung, penulis pernah melakukan penelitian di daerah patahan aktif Sumatera (Sesar Semangko). Selain sebagai pengajar dan peneliti, penulis juga aktif menulis buku dalam bidang fisika, statistika, dan matematika dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara ini. Beberapa karya yang telah dipublikasikan antara lain bunga rampai dalam: Fisika Magnet untuk Teknik dan Pengantar Statistika 2, Geometri Datar dan Ruang, dan Perpindahan Kalor.

Email Penulis: erwindafenty@gmail.com

Sitti Nurrahmi

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Temperatur dan Termometer

Temperatur atau temperatur merupakan salah satu besaran fisika yang hanya dapat dirasakan. Tubuh manusia dapat merasakan temperatur dalam bentuk rasa panas maupun dingin. Ketika menyentuh es batu, otak memberikan informasi rasa dingin. Sedangkan ketika memegang oven yang panas, otak pun memberikan informasi rasa panas. Dari contoh kasus diatas, dapat disimpulkan bahwa **temperatur atau suhu merupakan ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda**. Tubuh manusia dapat merasakan panas atau dingin, karena adanya pergerakan molekul molekul udara yang menumbuk kulit kita. Pada saat udara panas, molekul-molekul udara akan bergerak lebih cepat dan menumbuk kulit dengan lebih kencang sehingga menimbulkan rasa panas. Sebaliknya, pada saat udara dingin, molekul-molekul di udara bergerak lebih lambat, sehingga getaran atom kulit pun menjadi lebih lambat dan kulit terasa dingin (Abdullah, 2017).

Banyak sifat zat yang dapat berubah terhadap temperatur. Contohnya sebatang besi akan lebih panjang dalam keadaan panas dibanding waktu dingin. Rel kereta api yang terbuat dari logam dapat memuai karena panas, yang dapat mematahkan sambungan rel kereta. Hambatan listrik materi juga dapat berubah terhadap temperatur, dan masih banyak lagi contoh lainnya (Giancoli, 2005).

Alat-alat yang dirancang untuk mengukur temperatur disebut **termometer**. Ada banyak jenis termometer dan prinsip kerjanya selalu bergantung pada sifat materi yang berubah terhadap temperatur. Sebagian besar, termometer umum bergantung pada pemuaian materi terhadap naiknya temperatur. Saat ini, termometer umum terdiri atas

tabung kaca dengan ruang di tengahnya berisi air raksa atau alkohol yang diberi warna merah seperti gambar 18.1 dibawah ini.



Gambar 18.1 Termometer air raksa atau alkohol di dalam kaca

Penggunaan air raksa di dalam termometer dikarenakan air raksa memiliki keistimewaan yaitu warna yang mengkilat dan bereaksi secara cepat terhadap perubahan temperatur. Air raksa memiliki sifat yang sangat beracun, sehingga akan sangat berbahaya jika termometer pecah. Serupa dengan air raksa, alkohol pun bereaksi secara cepat terhadap perubahan temperatur. Akan tetapi, alkohol tidak seberbahaya raksa dan mudah menguap, sehingga aman untuk digunakan sebagai pengisi termometer (www.sumber.belajar.kemdikbud.go.id).

Untuk mengukur temperatur secara kuantitatif, perlu didefinisikan semacam skala numerik. Dalam menetapkan skala temperatur, perlu ditentukan dua peristiwa dimana temperaturnya ditetapkan terlebih dahulu. Dua peristiwa tersebut yaitu *peleburan es pada tekanan satu atmosfer* yang sering disebut **titik acuan bawah** dan *air mendidih pada tekanan satu atmosfer* yang sering disebut **titik acuan atas** (Abdullah, 2017). Ada banyak skala temperatur yang telah diusulkan para ahli. Skala yang paling sering digunakan sekarang adalah skala **Celsius**. Begitupun skala **Reamur**. Di Amerika Serikat, skala **Fahrenheit** juga umum. Sedangkan skala yang paling penting dalam sains adalah skala absolut atau **Kelvin** (Giancoli, 2005).

Skala Celsius

Skala temperatur Celsius ditetapkan sebagai berikut.

1. Temperatur es murni yang sedang melebur pada tekanan satu atmosfer ditetapkan sebagai temperatur 0 derajat

2. Temperatur air murni yang sedang mendidih pada tekanan satu atmosfer ditetapkan sebagai temperatur 100.

Jadi, ketika kita memanaskan es yang sedang melebur sehingga menjadi air yang sedang mendidih pada tekanan 1 atmosfer kita menaikkan temperatur sebesar 100 derajat skala Celcius, atau 100°C (Abdullah, 2017).

Skala Reamur

Cara penetapan skala temperatur Reamur tidak jauh berbeda dengan penetapan skala temperatur Celsius. Skala temperatur Reamur ditetapkan sebagai berikut.

1. Temperatur es murni yang sedang melebur pada tekanan satu atmosfer ditetapkan sebagai temperatur 0 derajat
2. Temperatur air murni yang sedang mendidih pada tekanan satu atmosfer ditetapkan sebagai temperatur 80.

Jadi, ketika kita memanaskan es yang sedang melebur sehingga menjadi air yang sedang mendidih pada tekanan 1 atmosfer kita menaikkan temperatur sebesar 80 derajat skala Reamur, atau 80°R (Abdullah, 2017).

Skala Fahrenheit

Penetapan skala temperatur Fahrenheit sedikit berbeda dengan penetapan skala Celcius dan Reamur. Skala temperatur Fahrenheit ditetapkan sebagai berikut

1. Temperatur es murni yang sedang melebur pada tekanan satu atmosfer ditetapkan sebagai temperatur 32 derajat.
2. Temperatur air murni yang sedang mendidih pada tekanan satu atmosfer diterapkan sebagai temperatur 212.

Jadi, ketika kita memanaskan es yang sedang melebur sehingga menjadi air yang sedang mendidih pada tekanan 1 atmosfer maka kita menaikkan temperatur sebesar $(212 - 32) = 180$ derajat skala Fahrenheit, atau 180°F (Abdullah, 2017).

Skala Kelvin

Jika temperatur zat terus didinginkan maka zat tersebut akan berubah wujud dari gas menjadi cair, lalu berubah menjadi padat. Jika diturunkan terus menerus maka getaran atom-atom dalam zat makin lambat. Ketika diturunkan lagi maka atom-atom zat tidak bergerak lagi. Untuk semua zat yang ada di alam semesta didapatkan bahwa

temperatur ketika semua partikel tidak bergerak lagi sama dengan -273°C (Abdullah, 2017).

Skala temperatur Kelvin ditetapkan sebagai berikut.

1. Temperatur ketika partikel-partikel zat di alam semesta tidak bergerak lagi dipilih sebagai titik acuan bawah. Temperatur titik acuan bawah ini diambil sebagai nol derajat mutlak atau nol kelvin.
2. Besar kenaikan temperatur untuk tiap kenaikan skala kelvin sama dengan besar kenaikan temperatur untuk tiap kenaikan skala celcius (Abdullah, 2017).

Dengan demikian, hubungan antara skala kelvin dan celcius adalah

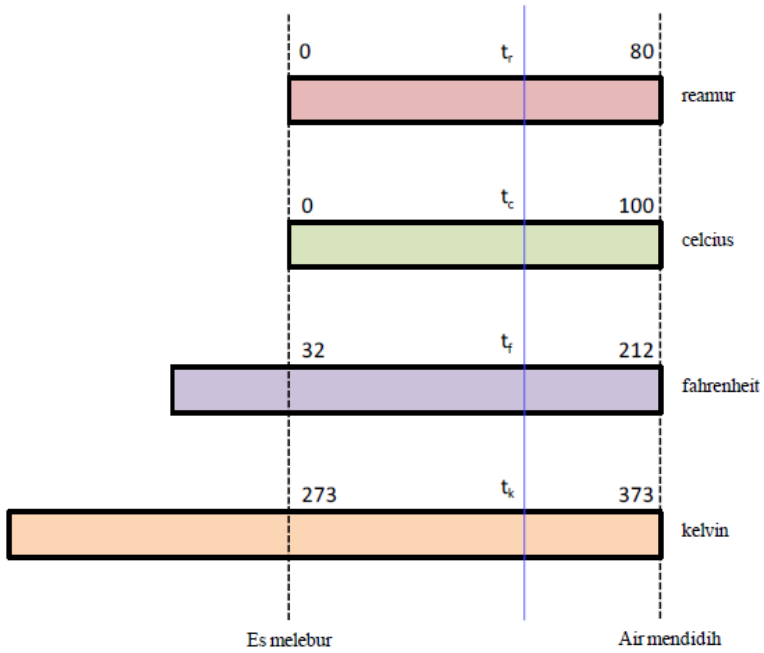
$$\text{Skala kelvin} = \text{skala Celsius} + 273$$

- Temperatur es murni melebur pada tekanan satu atmosfer adalah 0°C dan sama dengan $0 + 273 = 273 \text{ K}$
- Temperatur air murni mendidih pada tekanan satu atmosfer adalah 100°C dan sama dengan $100 + 273 = 373 \text{ K}$

Skala kelvin ditetapkan sebagai skala temperatur dalam satuan SI.

Banyak pertanyaan mengenai temperatur, misalnya adalah berapa Fahrenheit kah 20 Kelvin? Berapa Reamur kah negatif 200 Celsius? Untuk menjawab pertanyaan tersebut dapat dilihat pada konversi temperatur pada persamaan dibawah ini.

$$\frac{R}{4} = \frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5} \quad (18.1)$$



Gambar 18.2 Ilustrasi konversi temperatur untuk berbagai skala (Abdullah, 2017)

Untuk lebih jelasnya perhatikan contoh berikut.

Contoh 1

Nyatakan temperatur pada gambar 18.2 ke dalam skala Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin.



Gambar 18.2 Gambar untuk contoh 1

Penyelesaian

Pada gambar 18.2, temperatur dinyatakan dalam skala 37°C . Menggunakan persamaan 10.1 diperoleh

$$\frac{R}{4} = \frac{C}{5}$$

$$R = \frac{4}{5}C = \frac{4}{5} \times 37 = 29,6^{\circ}\text{R}$$

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

$$F = \frac{9}{5}C + 32 = \left(\frac{9}{5} \times 37\right) + 32 = 98,6^{\circ}\text{F}$$

$$K = C + 273$$

$$K = 37 + 273 = 310\text{ K}$$

Contoh 2

Temperatur tubuh normal adalah $98,6^{\circ}\text{F}$. Berapakah nilainya pada skala Celsius?

Penyelesaian

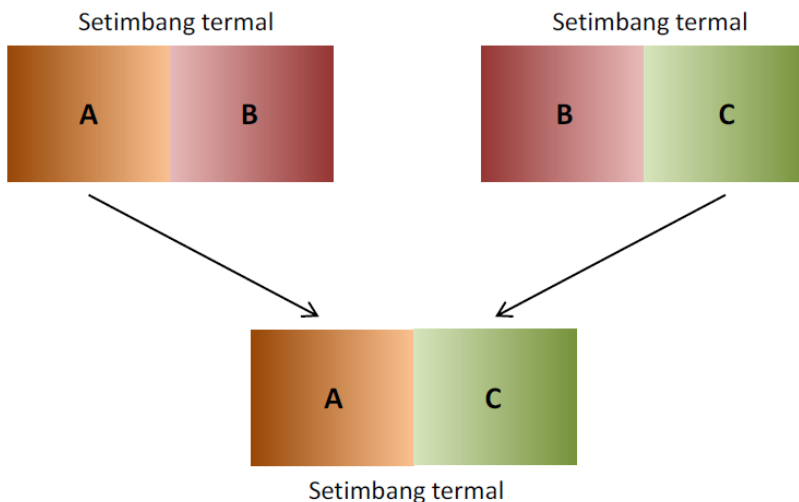
$$\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5}$$

$$C = \frac{5}{9}F - 32 = \frac{5}{9}(98,6 - 32) = 37^{\circ}\text{C}$$

Keseimbangan Termal Dan Hukum Termodinamika Ke Nol

Hukum termodinamika ke nol terkait dengan konsep temperatur, yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan (Satriawan, 2012). Kita mulai dengan definisi keseimbangan panas. Dua benda berada dalam **keseimbangan panas** jika tidak ada pertukaran kalor antara dua benda tersebut saat keduanya disentuhkan. Kondisi ini hanya dapat dicapai jika suhu kedua benda sama. Sebab perpindahan kalor terjadi karena adanya perbedaan temperatur (Abdullah, 2017). Berkaitan dengan keseimbangan panas, kita memiliki hukum ke nol termodinamika. Pernyataan hukumnya adalah: "*Jika benda A dan benda B berada dalam kesetimbangan termal, kemudian benda B dan benda C berada dalam kesetimbangan termal, maka benda A dan benda C juga berada*

dalam kesetimbangan termal". Kondisi ini memungkinkan untuk mengklasifikasikan benda-benda yang berada dalam kesetimbangan termal, serta untuk menentukan derajat/ukuran keadaan kesetimbangan termal. Konsep temperatur didefinisikan oleh hukum ke nol termodinamika, yaitu benda dalam kesetimbangan termal memiliki temperatur yang sama. Jika dua benda tidak memiliki temperatur yang sama, kedua benda tersebut tidak berada dalam kesetimbangan termal, dan ketika disentuh, panas dipindahkan dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah (Satriawan, 2012).



Gambar 18.3 Ilustrasi Hukum ke nol termodinamika mengenai kesetimbangan termal (Abdullah, 2017)

Hukum ke nol termodinamika adalah dasar pembuatan termometer. Ketika termometer diberi skala maka sebenarnya termometer dibuat dalam kesetimbangan termal dengan benda yang temperaturnya diketahui (benda acuan). Termometer dengan skala digunakan untuk mengukur suhu benda-benda lain. Ketika termometer berada dalam kesetimbangan termal dengan objek yang diukur, maka objek yang sedang diukur berada dalam kesetimbangan termal dengan benda yang digunakan pada saat memberi skala pada termometer. Ini berarti temperatur benda yang diukur dianggap sama dengan standar temperatur benda yang digunakan untuk memberi skala pada termometer (Abdullah, 2017).

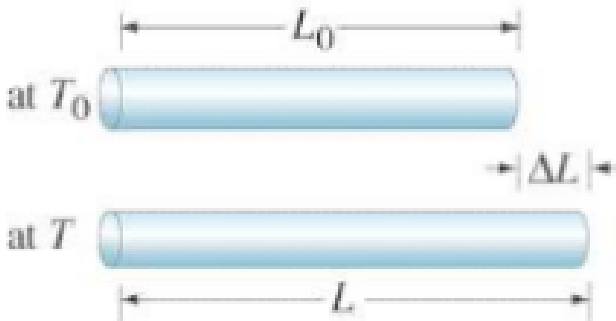
Pemuaian Termal

Fenomena lain yang berhubungan langsung dengan temperatur adalah ekspansi/pemuaian termal. Setiap benda yang dipanaskan selalu memuai. Apa hubungan antara kenaikan temperatur dan pemuaian, akan dibahas pada bagian ini.

Pengalaman manusia sejauh ini telah menunjukkan bahwa semua benda mengembang saat temperaturnya meningkat. Di sisi lain, benda menyusut saat temperatur turun. Pemuaian berarti bertambahnya ukuran dalam hal panjang, lebar, tinggi, luas dan volume (Taib, 2018). Besar pemuaian berbeda pada benda yang berbeda. Ada benda yang memuai dengan sangat mudah, sehingga sedikit saja peningkatan temperatur, sudah cukup untuk membuat ukuran benda yang terlihat oleh mata (Young, 2006). Di sisi lain, ada benda yang sulit memuai, sehingga meskipun temperaturnya naik signifikan, ukuran benda tidak akan banyak berubah (Abdullah, 2017).

Pemuaian Panjang

Saat temperatur benda meningkat, panjang benda bertambah (Gambar 18.4). Pengukuran yang teliti terhadap beberapa benda padat menunjukkan bahwa perubahan panjang sebanding dengan panjang awal dikalikan dengan perubahan temperatur. Jika dinyatakan dalam rumus matematika, dapat ditulis menjadi



Gambar 18.4 Pemuaian Panjang (Giancoli, 2005)

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (18.2)$$

Dengan

α = koefisien muai panjang ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ΔL = pertambahan panjang benda, $\Delta L = L - L_0$ (m)

L = panjang benda setelah dipanaskan (m)

L_0 = panjang benda mula-mula (m)

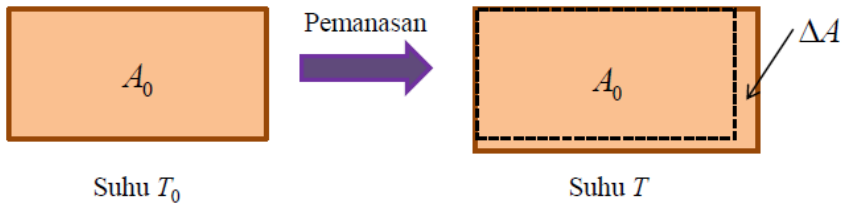
ΔT = perubahan suhu, $\Delta T = T - T_0$ ($^{\circ}\text{C}$)

T = suhu akhir ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

Pemuaian Luas

Disamping mengalami pertambahan panjang, benda juga mengalami pertambahan luas apabila mengalami kenaikan temperatur (Gambar 18.5). Pengukuran yang teliti terhadap beberapa benda padat juga menunjukkan bahwa perubahan luas sebanding dengan luas awal dikalikan dengan perubahan temperatur. Jika dinyatakan dalam rumus matematika, dapat ditulis menjadi (Abdullah, 2017)



Gambar 18.5 Pemuaian Luas (Abdullah, 2017)

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T \quad (18.3)$$

Dengan

β = koefisien muai luas ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ΔA = pertambahan luas benda, $\Delta A = A - A_0$ (m^2)

A = luas benda setelah dipanaskan (m^2)

A_0 = luas benda mula-mula (m^2)

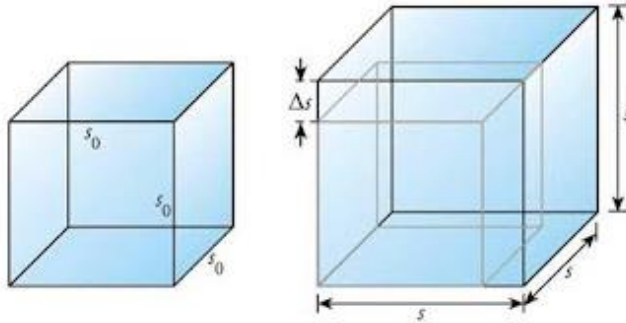
ΔT = perubahan suhu, $\Delta T = T - T_0$ ($^{\circ}\text{C}$)

T = suhu akhir ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

Pemuaian Volume

Benda yang mengalami kenaikan temperatur juga mengalami pertambahan volume yang sebanding dengan volume awal dikalikan dengan perubahan temperatur (Gambar 18.6). Jika dinyatakan dalam rumus matematika, dapat ditulis menjadi (Abdullah, 2017)



Gambar 18.6 Pemuaian Volume (www.fisikabc.com)

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T \quad (18.4)$$

Dengan

γ = koefisien muai volume ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ΔV = pertambahan volume benda, $\Delta V = V - V_0$ (m^3)

V = volume benda setelah dipanaskan (m^3)

V_0 = volume benda mula-mula (m^3)

ΔT = perubahan suhu, $\Delta T = T - T_0$ ($^{\circ}\text{C}$)

T = suhu akhir ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

Untuk zat padat, nilai γ biasanya sama dengan sekitar 2β dan 3α (Tipler, 2007). Bagaimanapun, hal ini benar untuk zat pada yang tidak isotropik (isotropik berarti memiliki sifat yang samake segala arah). Perhatikan juga bahwa pemuaian panjang tidak ada artinya untuk zat cair dan gas karena mereka tidak mempunyai bentuk yang tetap (Giancoli, 2005).

$$\gamma = 2\beta = 3\alpha \quad (18.5)$$

Contoh 3

Panjang dasar baja pada sebuah jembatan gantung adalah 200 m pada 20°C. Jika titik-titik ekstrim temperatur yang bisa dialaminya adalah -30°C sampai +40°C, seberapa besar jembatan tersebut akan menyusut dan memuai? (diketahui $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) (Giancoli, 2005).

Penyelesaian

Penambahan panjang pada 40°C adalah

$$\Delta L = (12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1})(200 \text{ m})(40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 4,8 \times 10^{-2} \text{ m},$$

atau 4,8 cm.

Ketika temperatur menurun sampai -30°C, $\Delta T = -50^\circ\text{C}$. Sehingga perubahan panjangnya adalah

$$\Delta L = (12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1})(200 \text{ m})(-50^\circ\text{C}) = -12 \times 10^{-2} \text{ m},$$

atau pengurangan panjang sebesar 12 cm (Giancoli, 2005).

Contoh 4

Tangki baja 70 L pada sebuah mobil diisi sampai penuh dengan bensin pada 20°C. Mobil kemudian ditinggalkan tetap di bawah sinar matahari dan tangki mencapai temperatur 40°C. Berapa banyak bensin yang anda perkirakan akan meluap dari tangki? Diketahui $\gamma = 950 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (Giancoli, 2005).

Penyelesaian

Bensin memuai sebesar

$$\Delta V = (950 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1})(70 \text{ L})(20^\circ\text{C}) = 1,3 \text{ L}.$$

Tangki juga memuai. Kita dapat menganggapnya sebagai kulit baja yang mengalami pemuaian volume ($\gamma = 3\alpha = 36 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Jika tangki tersebut padat, lapisan permukaan luar (kulit) akan memuai juga. Dengan demikian volume tangki akan bertambah sebesar

$$\Delta V = (36 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1})(70 \text{ L})(20^\circ\text{C}) = 0,05 \text{ L},$$

sehingga pemuaian tangki memiliki efek yang kecil. Jika tangki yang penuh ini ditinggalkan di bawah sinar matahari, lebih dari satu liter bensin akan meluap ke jalan (Giancoli, 2005).

Daftar Pustaka

- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with Applications*. Pearson Education Canada.
- Taib, A. S. dan S. (2018). *Fisika Dasar I*. Deepublish.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers*. W. H. Freeman.
- Young, H. D., & Geller, R. M. (2006). *Sears & Zemansky's College Physics*. Pearson/Addison Wesley.
- Abdullah, M. (2017). *Fisika Dasar I*. Institut Teknologi Bandung
- Satriawan, M. (2012). *Fisika Dasar I*. Universitas Gadjah Mada
- <https://www.fisikabc.com/2018/04/pemuaian-volume.html>
- <https://sumber.belajar.kemdikbud.go.id/repos/FileUpload/Termometer-%20BPSMG/materi1.html>

Profil Penulis



Sitti Nurrahmi, S.Si., M.Sc

Penulis lahir di kota Palu pada tanggal 21 November 1988. Pada waktu SMA, penulis bersekolah di SMA Negeri 3 Palu dan memiliki wali kelas yang mengajar mata pelajaran Fisika. Penyampaiannya terhadap mata pelajaran Fisika sangat menarik perhatian penulis, sehingga menjadi mata pelajaran favorit penulis sewaktu SMA. Ketertarikan di dunia Fisika membuat penulis bertekad untuk melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi dengan memilih jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako pada tahun 2006 dan lulus tahun 2011. Pada tahun 2012, penulis kembali melanjutkan studi S2 dengan mengambil program Magister Ilmu Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada dan lulus tahun 2015. Saat ini penulis aktif sebagai dosen tetap jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, dan aktif melaksanakan tridarma perguruan tinggi, melalui pengajaran, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat, salah satunya sebagai dosen pengampuh matakuliah Mekanika I dan II serta matakuliah binaan Fisika Statistik.

Email Penulis: sitti.nurrahmi@uin-alauddin.ac.id

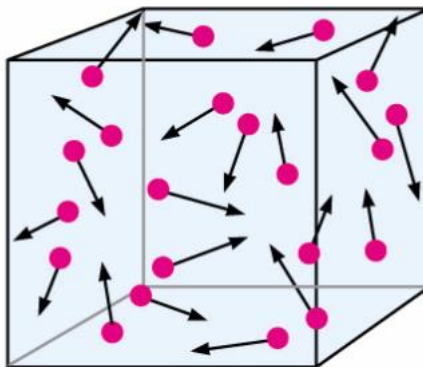
TEORI KINETIK GAS

Rafika Sari

Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

Model Gas Ideal

Anda pernah mempelajari teori kinetik gas pada pelajaran fisika di SMA, dan juga telah mempelajari sifat-sifat gas pada Kuliah Kimia Fisika I. Teori kinetik gas beranjak dari teori yang lebih umum yang disebut teori kinetik. Teori kinetik menjelaskan sifat dan perilaku sistem fisika berdasarkan hipotesis terhadap sistem yang terdiri dari sejumlah besar partikel (misalnya molekul atau atom) yang bergerak (Pratomo Al, 2010). Teori kinetik gas menyangkut hubungan antara tekanan, volume dan suhu dengan kelajuan massa tiap molekul. Teori kinetik gas menjelaskan bahwa setiap zat terdiri dari atom ataupun molekul. Kemudian atom dan juga molekul tersebut bergerak secara terus menerus secara tidak beraturan. Teori kinetik gas adalah teori pertama yang menjelaskan tentang tekanan gas berdasarkan konsep tumbukan molekul (Azizah, 2021).



Gambar 19.1. Ilustrasi gerak partikel gas dalam ruang (Pratomo Al, 2010)

Dalam memudahkan analisa digunakan model gas ideal dengan beberapa asumsi, yaitu: (Utomo et al., 2009)

1. Gas terdiri dari partikel-partikel yang sangat banyak dapat berupa atom atau molekul-molekul. Tiap molekul dapat terdiri satu atom (monoatomik), dua atom (diatomik) atau lebih (poliatomik).
2. Partikel bergerak ke segala arah secara acak dan mengikuti hukum Newton tentang gerak.
3. Tumbukan antar partikel dengan partikel dan tumbukan antar partikel dengan dinding adalah tumbukan elastis sempurna.
4. Gaya yang bekerja antar molekul diabaikan kecuali gaya impuls selama tumbukan.
5. Jarak antar partikel jauh lebih besar dari ukuran partikel sehingga ukuran partikel diabaikan.

Untuk gas ideal di ruangan tertutup, keadaan sebuah gas ideal akan dipengaruhi oleh tekanan, suhu, volume, dan juga jumlah molekul gas. Ternyata, terdapat beberapa hukum yang menjelaskan mengenai keterkaitan antara keempat besaran tersebut, antara lain:

1. Hukum Boyle

$$\frac{PV}{T} = \text{konstan} \text{ atau } P_1V_1 = P_2V_2 \quad (19.1)$$

Hukum Boyle ini dicetuskan oleh seorang ilmuwan yang berasal dari Inggris, yakni Robert Boyle. Adapun pernyataan Hukum Boyle ini yaitu “*jika suhu suatu gas dijaga konstan, maka tekanan gas akan berbanding terbalik dengan volumenya*”. Istilah lainnya dapat dinyatakan sebagai hasil kali antara tekanan dan juga volume suatu gas pada suhu tertentu, yakni tetap atau isothermal. Secara matematis, berikut ini adalah rumus hukum Boyle (Azizah, 2021; David Halliday et al., 2013; Utomo et al., 2009).

2. Persamaan Charles

$$\frac{V}{T} = \text{konstan} \text{ atau } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (19.2)$$

Apabila Hukum Boyle membahas mengenai pengaruh tekanan dan juga volume pada suhu tetap, maka tidak demikian dengan Hukum Charles. Hukum yang ditemukan oleh Jacques Charles ini menyatakan bahwa “*jika tekanan suatu gas dijaga konstan, maka volume gas akan*

sebanding suhu mutlaknya”. Adapun istilah lain dari Hukum Charles ini yaitu hasil bagi antara volume dan juga suhu pada tekanan tetap atau isobar akan bernilai tetap. Secara matematis, berikut adalah rumus Hukum Charles (Azizah, 2021; David Halliday et al., 2013).

3. Persamaan Gay-Lussac

$$\frac{P}{T} = \text{konstan} \text{ atau } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (19.3)$$

Hukum Gay-Lussac ini ditemukan oleh seorang ilmuwan Kimia yang berasal dari Perancis, yakni Joseph Louis Gay-Lussac di tahun 1802. Adapun pernyataan dari Hukum Gay-Lussac ini yaitu “*jika volume suatu gas dijaga konstan, tekanan gas akan sebanding dengan suhu mutlaknya*”. Itu artinya, proses berlangsung dalam kondisi isokhorik atau volume tetap. Secara matematis, berikut ini adalah rumus Hukum Gay-Lussac (Azizah, 2021; David Halliday et al., 2013).

4. Persamaan Hukum Boyle-Gay Lussac

Hukum Boyle-Gay Lussac merupakan “*hasil kali antara tekanan dan volume dibagi suhu pada sejumlah partikel mol gas adalah tetap*”. Secara matematis Hukum Boyle-Gay Lussac diperlihatkan oleh persamaan (4)

$$\frac{PV}{T} = \text{konstan} \text{ atau } \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad (19.4)$$

5. Persamaan Umum Gas Ideal

Hukum Dalton tentang gas mengatakan bahwa tekanan total campuran gas-gas yang tidak bereaksi (gas ideal) sama dengan jumlah tekanan parsial komponen-komponen gas tersebut. Tekanan merupakan efek dari adanya gaya yang dihasilkan oleh molekul-molekul gas yang menabrak dinding wadah atau ruangan, sehingga persamaan umum gas ideal adalah

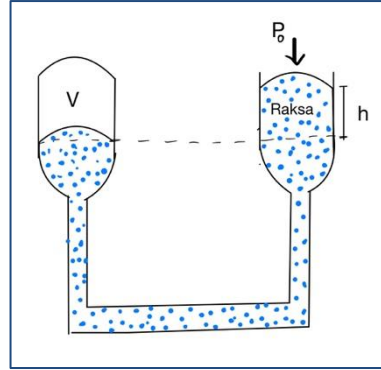
$$PV = NkT = nRT \quad (19.5)$$

dengan V = volume (m^3), P = tekanan (pascal= N/m^2), N =jumlah partikel ($\text{mol} \times 6.02 \cdot 10^{23}$), k =tetapan Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/partikel.K}$), R =konstanta gas (8.31 J/mol.K), n =mol, T =suhu (Kelvin).

Contoh soal:

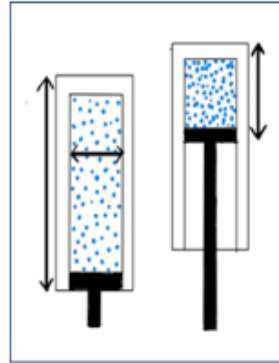
1. Sebuah tabung silinder dengan tinggi 0.20 m dan luas penampang $0,04 \text{ m}^2$ memiliki pengisap yang bebas bergerak seperti pada gambar.

Udara yang bertekanan $1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ diisikan ke dalam tabung. Jika pengisap ditekan sehingga tinggi silinder berisi gas menjadi 0.12 m, berapa besar tekanan P_2 ?



2. Sebuah silinder berisi 20 liter gas pada tekanan $25 \times 10^5 \text{ Pa}$. Keran yang ada pada silinder dibuka sampai tekanan turun menjadi $20 \times 10^5 \text{ Pa}$ dan kemudian ditutup. Anggap bahwa suhu dijaga tetap. Berapa volume gas yang dibebaskan pada atmosfer bertekanan $1 \times 10^5 \text{ Pa}$?

3. Sebuah percobaan dilakukan untuk menerapkan hukum Boyle dalam menentukan tekanan udara luar dengan menggunakan peralatan seperti pada gambar. Diperoleh data $h = 50 \text{ mm}$ dan $V = 18 \text{ cm}^3$ dan ketika $h = 150 \text{ mm}$ dan $V = 16 \text{ cm}^3$ berapa mmHg tekanan udara luar ditempat percobaan berlangsung?



4. Gas dalam ruang tertutup bersuhu 42°C dan tekana 7 atm serta volumenya 8L. Apabila gas dipanasi sampai 87°C , tekanan naik sebesar 1 atm, maka volume gas adalah?
5. Sebuah tangki bervolume 590 liter berisi gas oksigen pada suhu 20°C dan tekanan 5 atm. Tentukan massa oksigen dalam tangki jika diketahui untuk oksigen $M_r=32 \text{ kg/kmol}$.
6. Sebuah tabung yang volumenya 1 liter mempunyai lubang yang memungkinkan udara keluar dari tabung. Mula-mula suhu udara dalam tabung 27°C . Tabung dipanaskan hingga suhunya 127°C .

Perbandingan antara massa gas yang keluar dari tabung dan massa awalnya adalah?

7. Suatu tabung mempunyai tekanan 10^{-7} mmHg pada suhu 27°C , jika volume tabung 1 liter hitunglah banyaknya molekul gas ($1 \text{ mmHg} = 133,2 \text{ N/m}^2$)

Penyelesaian:

1. $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$P_2 = \frac{V_1}{V_2} P_1$$

$$P_2 = \frac{(1.01 \times 10^5)(0.20 \times 0.04)}{(0.12 \times 0.04)} = 1.7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

2. Keadaan awal: $P_1 = 25 \times 10^5 \text{ Pa}$; $V_1 = 20 \text{ L} = 20 \times 10^{-3}$

Keadaan akhir: $P_2 = 20 \times 10^5 \text{ Pa}$; $V_2 = ?$

Dengan menggunakan persamaan: $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Sehingga, $V_2 = \frac{P_1}{P_2} V_1$

$$V_2 = \frac{25 \times 10^5}{20 \times 10^5} 20 = 25 \text{ L pada tekanan } P_2 = 20 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

3. Sesuai dengan sifat bejana berhubungan, tekanan gas dalam V adalah:

Keadaan 1: $P_1 = (P_0 + h_1) = (P_0 + 50) \text{ mmHg} \dots\dots\dots (1)$

Keadaan 2: $P_0 = (P_0 + h_2) = (P_0 + 150) \text{ mmHg} \dots\dots\dots (2)$

Berdasarkan hukum Boyle: $P_1 V_1 = P_2 V_2$

maka, $P_2 = \frac{V_1}{V_2} P_1 = \frac{18}{16} P_1 \dots\dots\dots (3)$

Substitusi persamaan (1) dan (2) ke persamaan (3), sehingga

$$(P_0 + 150) = \frac{18}{16} (P_0 + 50) \quad 16P_0 + 16(150) = 18P_0 + 18(50)$$

$$2P_0 = 16(150) - 18(50) \rightarrow P_0 = 750 \text{ mmHg}$$

4. Dari soal diketahui: $P_1 = 7 \text{ atm}$, $P_2 = 8 \text{ atm}$, $T_1 = 42^{\circ}\text{C} + 273 = 315 \text{ K}$, $T_2 = 87^{\circ}\text{C} + 273 = 360 \text{ K}$, $V_1 = 8 \text{ L}$, $V_2 = ?$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow \frac{7.8}{315} = \frac{8 V_2}{360} \rightarrow V_2 = 8 \text{ liter}$$

5. Dengan menggunakan satuan SI, data yang diperoleh dari soal adalah:

$$V = 590 \text{ L} = 590 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P = 5 \times 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$M_r = 32 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Dari persamaan gas ideal, } PV = \frac{m}{M_r} R T \rightarrow m = \frac{PV}{RT} M_r$$

$$\text{Sehingga, } m = \frac{(5 (1.01 \times 10^5)) (590 \times 10^{-3})}{(8.31 \times 10^3) 293} \quad (32) = 3.9 \text{ kg}$$

6. Karena tabung bocor, maka tekanan tidak berubah (P =konstan) meskipun dipanaskan.

$$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K} \text{ dan } T_2 = 127 + 273 = 400 \text{ K}$$

$$\text{Berdasarkan persamaan gas ideal, } PV = \frac{m}{M_r} R T \rightarrow m = \frac{PV}{RT} M_r$$

$$\text{Dalam hal ini } m = \frac{PV}{RT} M_r \text{ adalah konstan sehingga } m \approx \frac{1}{T}$$

Jika kita misalkan massa awal gas adalah m_1 dan massa akhir gas dalam tabung adalah m_2 maka dapat ditulis:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{300}{400} \text{ atau } m_2 = \frac{3}{4} m_1$$

Karena massa gas tersisa $m_2 = \frac{3}{4} m_1$ berarti gas yang telah keluar sebanyak $\Delta m = \frac{1}{4} m_1$. Dengan demikian perbandingan antara massa gas yang keluar dan massa awalnya adalah $\frac{\Delta m}{m_1} = \frac{1}{4}$.

7. Data yang diperoleh dari soal yaitu $T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$, $V = 1 \text{ liter} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $P = 10^{-7} \text{ mmHg} = 1.332 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$.

Dengan menggunakan konsep gas ideal, nilai mol $n = \frac{m}{M_r} = \frac{N}{N_0}$ dan persamaan gas ideal:

$$PV = n R T \rightarrow PV = \frac{N}{N_0} R T, \text{ sehingga nilai } N \text{ dapat dihitung dengan}$$

$$N = N_0 \frac{PV}{RT} \quad \rightarrow \quad N = (6.02 \times 10^{23}) \frac{(1.332 \times 10^{-5})(1 \times 10^{-3})}{(8.31)(300)}$$

$$= 3.22 \times 10^{12} \text{ molekul.}$$

Tekanan Gas Ideal Berdasarkan Teori Kinetik Gas

Dari sudut pandang mikroskopis, tekanan gas dianggap berasal dari tumbukan terus menerus molekul-molekul pada dinding ruangan. Secara matematis digambarkan oleh persamaan 6-7.

$$P = \frac{1}{3} \frac{m_0 N v^2}{V} = \frac{1}{3} \rho v^2 \quad (19.6)$$

$$= \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left(\frac{1}{2} m_0 v^2 \right)$$

$$\text{maka } P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_k \text{ sehingga } PV = \frac{2}{3} N E_k \quad (19.7)$$

Contoh soal:

1. Tekanan gas dalam suatu tabung tertutup menurun menjadi 64% dari semula. Berapa % penurunan kelajuan molekul gas?
2. Sebuah tangki dengan volume 0.3 m^3 mengandung 2 mol Helium pada suhu 20°C . Dengan menganggap Helium sebagai gas ideal, tentukan:
 - b. Energi kinetik gas?
 - c. Berapakah energi kinetik rata-rata setiap molekul gas?
3. Sebuah balon mempunyai volume 4000 cm^3 mengandung Helium pada tekanan $2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Berapa mol Helium yang mempunyai energi kinetik rata-rata $3.6 \times 10^{-22} \text{ J}$?

Penyelesaian

1. Hubungan tekanan P terhadap kelajuan v digambarkan dalam persamaan $P = \frac{1}{3} \frac{m_0 N v^2}{V}$ dengan $\frac{1}{3} \frac{m_0 N}{V}$ adalah konstan maka P sebanding dengan v^2 , sehingga

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0.64 P_1}{P_1} = 0.64$$

Jadi nilai $v_2^2 = 0.64 v_1^2$ atau $v_2 = 0.81 v_1$ atau $v_2 \approx 80 v_1$

Dengan kata lain nilai kelajuan molekul gas menurun 20%.

2. Data yang diperoleh dari soal yaitu $V = 0.3 \text{ m}^3$, $n = 2 \text{ mol}$, $T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$. Berdasarkan persamaan umum gas ideal $PV = \frac{2}{3} N E_k$ atau $N E_k = \frac{3}{2} PV = \frac{3}{2} nRT$ sehingga energi kinetik total gas adalah:

$$N E_k = \frac{3}{2} (2)(8.31)(293) = 7304.5 \text{ joule}, \quad \text{dengan } N \text{ menyatakan jumlah partikel.}$$

Jumlah molekul gas adalah $N = n N_A = 2 \times 6,022 \times 10^{23} = 12,044 \times 10^{23}$ butir. Energi kinetik rata-rata setiap molekul adalah:

$$E_k = \frac{N E_k}{N} = \frac{7304.5}{12,044 \times 10^{23}} = 6.06 \times 10^{-21} \text{ Joule}$$

3. Data yang diperoleh dari soal yaitu $N_0 = 6.02 \times 10^{23} \text{ molekul/mol}$, $P = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $V = 4000 \text{ cm}^3 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $E_k = 3.6 \times 10^{-22} \text{ J/molekul}$. Dengan menggunakan persamaan tekanan umum gas ideal,

$$E_k = \frac{3}{2} kT = \frac{3PV}{2N} = \frac{3PV}{2nN_0} \rightarrow n = \frac{3PV}{2E_k N_0} = \frac{3(2 \times 10^5)(4 \times 10^{-8})}{2(3.6 \times 10^{-22})(6.02 \times 10^{23})} = 5.54 \text{ mol}$$

Kecepatan Berdasarkan Teori Kinetik Gas

Pada kasus partikel gas yang bergerak, sebenarnya partikel-partikel tersebut bergerak dengan kecepatan yang bervariasi, sehingga perlu ditentukan berapa besarnya kecepatan rata-rata (*average speed* = v). Kecepatan rata-rata ini sangat penting untuk menentukan densitas gas atau besaran fisis lainnya. Kecepatan berdasarkan teori kinetik gas:

$$E_k = \frac{f}{2} k T \quad (19.8)$$

dengan E_k = energi kinetik gas (joule), k = tetapan Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/partikel.K}$), T = suhu (Kelvin) dan f = derajat kebebasan. Dengan mensubstitusi persamaan energi kinetik pada persamaan (8) akan diperoleh

$$\frac{1}{2} m_0 v^2 = \frac{f}{2} k T \quad (19.9)$$

dengan nilai kecepatan rata-rata partikel gas

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} \quad (19.10)$$

dengan v_{rms} = kecepatan rata-rata partikel (m/s), m_0 = massa 1 partikel gas (kg), Mr = massa molekul relatif, p = tekanan gas (Pascal), dan ρ = massa jenis gas (kg/m^3).

Contoh soal:

1. Sebuah silinder berisi gas ideal dengan suhu 270C. Jika tetapan Boltzman $k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$ dan tetapan umum gas $R = 8.31 J/mol.K$, tentukanlah:
 - a. Energi kinetik translasi setiap molekul gas,
 - b. Energi kinetik translasi total bila terdapat 1 mol gas dalam silinder?
 - c. Bila gas dalam tabung adalah oksigen dengan massa satu molekul $m_0 = 5.31 \times 10^{-26} kg$, tentukanlah kecepatan efektif molekul (partikel) gas!
2. Lima molekul gas dipilih secara acak dengan kecepatan masing-masing adalah 500 m/s , 600 m/s , 700 m/s , 800 m/s dan 900 m/s , tentukanlah:
 - b. Kecepatan efektif molekul gas
 - c. Besar kecepatan rata-ratanya!

Penyelesaian

1. a. $E_k = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} (1.38 \times 10^{-23})(300) = 6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$

- b. Karena terdapat 1 mol gas, maka energi kinetik translasi total adalah:

$$E_{k_{total}} = N E_k = n N_A E_k = (1)(6.022 \times 10^{23})(6.21 \times 10^{-21}) = 3729.67 \text{ J}$$

- c. Kecepatan efektif molekul gas adalah:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3(1.38 \times 10^{-23})(300)}{5.31 \times 10^{-26}}} = 483.63 \text{ m/s}$$

2. a. $v_{rms} = \sqrt{\frac{N_1 v_1^2 + N_2 v_2^2 + N_1 v_1^2 + \dots + N_5 v_5^2}{N_1 + N_2 + \dots + N_5}} =$
$$\sqrt{\frac{1(500)^2 + 1(600)^2 + 1(700)^2 + 1(800)^2 + 1(900)^2}{1+1+1+1+1}} = 714.14 \text{ m/s}$$

b. $v_{rms} = \frac{N_1 V_1 + N_2 V_2 + \dots + N_5 V_5}{N_1 + N_2 + \dots + N_5} =$
$$\frac{1(500) + 1(600) + 1(700) + 1(800) + 1(900)}{1+1+1+1+1} = 700 \text{ m/s}$$

Energi dan Derajat Kebebasan

Energi kinetik gas ideal disebabkan oleh adanya gerakan partikel gas yang ada di dalam sebuah ruangan. Gas akan selalu bergerak dengan kecepatan tertentu. Kecepatan itulah yang nantinya akan berpengaruh pada energi kinetik gas (Utomo et al., 2009). Energi kinetik sangat bergantung pada kecepatan gerak partikel dan ukuran partikel tersebut. Energi kinetik translasi mempunyai tiga komponen kecepatan, atau dikatakan mempunyai 3 derajat kebebasan (f). Sebenarnya molekul tidak hanya memiliki derajat kebebasan translasi, tetapi juga memiliki derajat kebebasan vibrasi dan rotasi. Energi vibrasi dan rotasi ini terutama dimiliki oleh molekul-molekul diatomik, triatomik, dan molekul-molekul poliatomik lainnya (David Halliday et al., 2013; Pratomo Al, 2010).

Derajat kebebasan menyatakan banyak bentuk energi yang dimiliki oleh molekul gas sesuai dengan jenis dan arah gerak, misalnya derajat kebebasan translasi, rotasi dan vibrasi. Derajat kebebasan suatu benda adalah banyaknya bentuk energi yang dimiliki oleh benda tersebut. Monoatomik memiliki 3 macam bentuk energi kinetik (E_k) yang tidak saling bergantung yaitu terhadap sumbu x , y dan z sehingga energi molekulnya:

$$E_{molekul} = 3 E_k = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{3}{2} kT \quad (19.11)$$

Molekul diatomik memiliki 3, 5 atau 7 macam bentuk energi yang tergantung pada suhu gas sehingga energi molekulnya:

$$\begin{aligned} E_{molekul} &= 3 E_k = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{3}{2} kT \quad (T_{rendah} = 250 \text{ K}) \quad (19.12) \\ &= 5 E_k = \frac{5}{2} kT \quad (T_{sedang} = 500 \text{ K}) \\ &= 7 E_k = \frac{7}{2} kT \quad (T_{tinggi} = 1000 \text{ K}) \end{aligned}$$

Energi-dalam adalah energi total yang dimiliki oleh suatu sistem. Molekul memiliki energi kinetik karena molekul-molekul selalu bergerak, sedangkan energi potensialnya dapat diabaikan keberadaannya karena sangat kecil. Jika energi-dalam merupakan energi total yang dimiliki molekul, sedangkan energi total terdiri atas energi kinetik dan energi potensial, padahal energi potensialnya sangat kecil, praktis energi total molekul gas hanyalah energi kinetiknya saja. Oleh karena itu, apabila energi kinetik $E_k = 1/2 kT$ maka besarnya energi-dalam juga sama dengan energi kinetiknya. Energi-dalam (U) memiliki persamaan

$$U = N \bar{E}_k \quad (19.13)$$

Untuk gas monoatomik, energi dalam (U) sebesar:

$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT \quad (19.14)$$

Untuk gas diatomik, energi dalam (U) sebesar:

$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT \quad (\text{suhu rendah}) \quad (19.15)$$

$$U = \frac{5}{2} NkT = \frac{5}{2} nRT \quad (\text{suhu sedang})$$

$$U = \frac{7}{2} NkT = \frac{7}{2} nRT \quad (\text{suhu tinggi})$$

Dari persamaan (14) dan (15) terlihat bahwa Energi Dalam (U) gas diatomik pada suhu rendah akan sama besar dengan nilai Energi Dalam (U) gas monoatomik.

Contoh soal:

1. Setiap molekul dari suatu gas poliatomik pada suhu 1200 K memiliki derajat kebebasan masing-masing tiga untuk gerak translasi, tiga untuk gerak rotasi dan empat untuk gerak vibrasi. Tentukanlah:
 - a. Energi mekanik rata-rata tiap molekul, dan
 - b. Energi Dalam (U) 5 mol gas ideal tersebut!
2. Neon (Ne) adalah suatu gas monoatomik. Berapakah Energi-Dalam (U) 2 gram gas Neon pada suhu 50°C jika massa molekul relatifnya $M_r = 10$ g/mol dan tetapan umum gas $R = 8.31 \text{ J/mol.K}$?

Penyelesaian

1. Data yang diperoleh dari soal adalah $T = 1200 \text{ K}$, jumlah mol $n = 5$ dan derajat kebebasan $f = 3 + 3 + 4 = 10$.

$$E_k = \frac{f}{2} kT = \frac{10}{2} (1.38 \times 10^{-23})(1200) = 8.3 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$U = N E_k = n N_A E_k = 5(6.02 \times 10^{23})(8.3 \times 10^{-20}) \\ = 249830 \text{ J}$$

2. Dengan menggunakan persamaan (10) dapat dihitung besarnya energi-dalam yaitu

$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT = \frac{3m}{2M_r} RT = \frac{3}{2} \left(\frac{2}{10} \right) (8.31)(50 + 273) \\ = 805.24 \text{ J}$$

Soal Evaluasi

1. Sebuah tangki berisi 10 kg oksigen pada tekanan $4 \times 10^5 \text{ Pa}$, dan suhu 470°C . Pada suatu saat Ketika suhu 27°C dan tekanan gas dalam tangki $2 \times 10^5 \text{ Pa}$, diketahui tangki bocor, sehingga sejumlah oksigen keluar. Berapa massa oksigen yang telah keluar?
2. Gas dalam ruangan tertutup bersuhu 87°C dan tekanan 7 atm serta volume 8 liter. Jika gas didinginkan sampai 42°C volume gas bertambah 40%. Berapa persenkah berkurangnya tekanan gas?
3. Dengan eksperimen hukum Boyle diperoleh bahwa Ketika $h = 50 \text{ mm}$, $V = 18 \text{ cm}^3$ dan Ketika $h = 150 \text{ mm}$, $V = 16 \text{ cm}^3$. Berapakah besar tekanan udara luar dalam (mmHg)?

Gambar

4. Helium (He) suatu gas monoatomik, mengisi wadah bervolume 0.01 m^3 . Tekanan gas adalah $6.2 \times 10^5 \text{ Pa}$. Berapa lama sebuah mesin 200watt harus bekerja untuk menghasilkan jumlah energi yang sama dengan energi dalam gas ini?
5. Sebuah apartemen memiliki sebuah ruang tunggu yang ukurannya $3.4 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$. Anggap bahwa udara dalam ruang terdiri dari 80% nitrogen (N_2) dan 20% oksigen (O_2). Berapa massa udara (dalam gram) pada keadaan standar?

Daftar Pustaka

- Azizah, L. N. (2021). *Pengertian Teori Kinetik Gas*. Gramedia Literasi. <https://www.gramedia.com/literasi/pengertian-teori-kinetik-gas/>
- David Halliday, Robert Resnick, & Jearl Walker. (2013, August 28). *Fundamentals of Physics Extended, 10th Edition*. Google Book. https://books.google.co.id/books/about/Fundamentals_of_Physics_Extended_10th_Ed.html?hl=id&id=DTccAAAAQBAJ&redir_esc=y
- Pratomo Al, H. (2010). Teori Kinetik Gas Dan Distribusi Kecepatan Molekul. In Isana SYL & Endang Widjajanti (Eds.), *Kimia Fisika 3*. Universitas Terbuka.
- Utomo, W. B., Pramudito, & Azis, M. (2009). *Fisika* (Divisi Akademik Bintang Pelajar, Ed.). Bintang Pelajar.

Profil Penulis



Rafika Sari, S.Si., M.Si.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu sains dan komputasi dimulai pada tahun 2004 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Jakarta dengan memilih Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam dan berhasil lulus pada tahun 2007. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di program studi Fisika FMIPA di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 2012 dengan konsentrasi keilmuan Komputasi Fisika. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi S2 di program studi Sains Komputasi FMIPA Institut Teknologi Bandung (ITB).

Saat ini penulis memilih untuk mengabdikan diri sebagai Dosen di program studi Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Bhayangkara Jakarta Raya dengan aktif mengajar beberapa mata kuliah diantaranya Fisika, Aljabar Linear, Kalkulus, Metode Numerik, Statistika dan Probabilitas, Matematika Diskrit, Sistem Digital, Data Mining, Machine Learning, dst. Berbagai asosiasi profesi juga diikuti oleh penulis untuk menambah kompetensinya, diantaranya Asosiasi Perguruan Tinggi Ilmu Komputer (APTIKOM), Masyarakat Komputasi Indonesia (MKI), Asosiasi Ilmuwan Data Indonesia (AIDI), *Indonesian Computer Electronics and Instrumentation Support Society* (INDOCEISS), *Physical Society Indonesia* (PSI), dan Relawan Jurnal Indonesia (RJI).

Ketertarikan penulis pada bidang *Data Science* dan *Artificial Intelligence* sehingga telah banyak menghasilkan karya publikasi penelitian dibidang tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemdikbudristek DIKTI. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara. Saat ini penulis juga aktif sebagai Editor in Chief pada *Journal of Computer Science Contributions* (JUCOSCO).

Email Penulis: rafika.sari@dsn.ubharajaya.ac.id

Wilson Jefriyanto
Universitas Palangka Raya

Kalor Sebagai Transfer Energi

Dalam kehidupan kita beberapa fenomena alam yang sering kita lihat seperti minuman kaleng dingin yang tertinggal di ruangan akan menjadi hangat dan minuman kaleng hangat yang tersisa di lemari es menjadi dingin. Ini dicapai dengan transfer energi dari media hangat ke media dingin. Dalam peristiwa ini ada perpindahan energi dimana perpindahan energi selalu dari medium bertemperatur lebih tinggi ke medium bertemperatur lebih rendah suhu satu, dan transfer energi berhenti ketika dua media mencapai suhu yang sama.



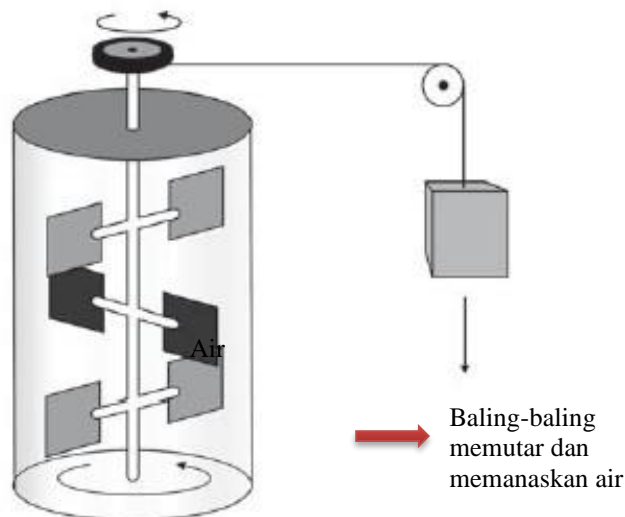
Gambar 20.1 Kopi panas mengalami penurunan suhu (Sumber: Wilson/Medsan)

Anda akan ingat dari termodinamika bahwa energi ada dalam berbagai bentuk. Di dalam bab ini kita akan dibahas tentang kalor, yang merupakan bentuk energi yang dapat ditransfer dari satu sistem ke sistem lain sebagai akibat dari perbedaan suhu. Ilmu yang berhubungan dengan penentuan laju perpindahan energi tersebut adalah perpindahan panas.

Bagaimana kita mendefinisikan besarnya energi kalor? Misalkan air satu liter mengalami kenaikan suhu 10°C . Berapakan energi kalor yang diserap air tersebut? Jika batang besi 1 kg mengalami penurunan suhu 2°C , berapa besar energi kalor yang dilepas batang besi tersebut?

Untuk maksud ini kita perlu definisikan satuan energi kalor. Para ahli telah sepakat bahwa satuan energi kalor adalah kalori (kita singkat kal). Bahasa Inggrisnya adalah *calorie* yang disingkat *cal*. Definisi yang telah disepakati untuk satu kalori adalah: 1 kalori = energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram air murni sebesar 1°C .

Satuan energi dalam sistem SI adalah joule. Pertanyaan selanjutnya adalah, bagaimana hubungan antara kalori dan joule? Berapa joule kah satu kalori tersebut? Orang yang pertama kali menentukan relasi antara satuan kalori dan joule adalah Joule itu sendiri. Ia melakukan percobaan yang sangat sederhana. Skema percobaan Joule tampak pada Gambar. 20.2



Gambar 20.2 Hubungan antara satuan kalori dan satuan joule pada percobaan Joule. (Sumber: <https://fisikazone.com/kalor-sebagai-transfer-energi/>)

Percobaan Joule dapat dijelaskan sebagai berikut. Air murni dimasukkan dalam tangki yang berisi baling-baling. Tangki tersebut tersekat dengan baik sehingga tidak ada kalor yang dapat masuk atau keluar. Baling-baling dihubungkan dengan beban melalui katrol. Beban yang bermassa m dilepas dari keadaan diam. Setelah turun sejauh h , laju beban diukur.

Kalau beban bermassa m yang jatuh tidak memutar baling-baling maka energi kinetik beban saat turun sejauh h sama dengan pengurangan energi potensial beban, atau

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad (20.1)$$

Energi Dalam Gas Ideal

Pada percobaan Joule, beban yang jatuh memutar baling-baling sehingga persamaan (20.1) tidak berlaku. Pengukuran Joule menunjukkan bahwa energi kinetik beban setelah turun sejauh h lebih kecil dari pada mgh . Jadi ada sebagian energi kinetik yang hilang. Energi kinetik yang hilang tersebut berubah menjadi kalor yang memanaskan air yang merupakan hasil konversi putaran baling-baling. Persamaan yang tepat menjelaskan percobaan Joule adalah $mgh = (1/2)mv^2 + Q$, dengan Q adalah jumlah kalor yang dihasilkan. Joule mengukur pertambahan energi air dan kehilangan energi kinetik beban. Joule sampai pada kesimpulan bahwa untuk menaikkan suhu satu kilogram air murni sebesar satu derajat celcius maka perlu kehilangan energi kinetik sebesar 4,184 Joule. Dengan demikian, kesetaraan satuan kalor dan satuan joule yang diterima hingga saat ini adalah 1 kalori = 4,184 joule.

Energi kinetik (EK) sejumlah partikel gas yang terdapat di dalam suatu ruang tertutup disebut sebagai energi dalam gas (U). Jika di dalam ruangan tersebut terdapat N partikel gas, energi dalam gas dituliskan dengan persamaan :

$$U = NEK \quad (20.2)$$

Dengan demikian, energi dalam untuk gas monoatomik atau gas diatomic pada suhu rendah adalah

$$U = NEK = \frac{3}{2} NkT \quad (20.3)$$

Adapun, energi dalam untuk gas-gas diatomik pada suhu sedang dinyatakan dengan

$$U = \frac{5}{2} NkT \quad (20.4)$$

dan pada suhu tinggi, besar energi dalam gas adalah

$$U = \frac{7}{2} NkT \quad (20.5)$$

Ketika suatu benda menyerap kalor maka getaran atom dalam benda tersebut akan meningkat. Getaran makin kencang jika kalor yang

diserap makin besar. Ini akan menimbulkan sejumlah fenomena yang dapat kita amati, baik secara langsung menggunakan indera maupun dengan menggunakan alat ukur.

Kalor Jenis

Apabila temperatur dari suatu benda dinaikkan dengan besar kenaikan temperatur yang sama, ternyata setiap benda akan menyerap energi kalor dengan besar yang berbeda. Misalnya, terdapat empat buah bola masing-masing terbuat dari aluminium, besi, kuningan, dan timah. Keempat bola ini memiliki massa sama dan ditempatkan di dalam suatu tempat yang berisi air mendidih. Setelah 30 menit, keempat bola akan mencapai kesetimbangan termal dengan air dan akan memiliki temperatur yang sama dengan temperatur air. Kemudian, keempat bola diangkat dan ditempatkan di atas kepingan parafin. Bola aluminium dapat melelehkan parafin dan jatuh menembus parafin. Beberapa sekon kemudian, bola besi mengalami kejadian yang sama. Bola kuningan hanya dapat melelehkan parafin sebagian, sedangkan bola timah hampir tidak dapat melelehkan parafin. Bagaimanakah Anda dapat menjelaskan kejadian yang terjadi pada keempat bola tersebut? Keempat bola tersebut menyerap kalor dari air mendidih, kemudian memindahkan kalor tersebut pada parafin sehingga parafin meleleh. Oleh karena setiap benda memiliki kemampuan berbeda untuk melelehkan parafin, setiap bola akan memindahkan kalor dari air ke parafin dengan besar yang berbeda. Kemampuan yang dimiliki setiap benda ini berhubungan dengan kalor jenis benda tersebut.

Kalor jenis suatu benda dapat didefinisikan sebagai jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg suatu zat sebesar 1K. Kalor jenis menunjukkan kemampuan suatu benda untuk menyerap kalor. Semakin besar kalor jenis suatu benda, semakin besar pula kemampuan benda tersebut untuk menyerap kalor. Secara matematis, kalor jenis suatu zat dapat dituliskan sebagai berikut.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (20.6)$$

dengan:

c = kalor jenis suatu zat (J/kg K),

Q = kalor (J),

m = massa benda (kg), dan

ΔT = perubahan temperatur (K).

Untuk suatu benda, faktor mc dipandang sebagai satu kesatuan dan faktor ini disebut sebagai kapasitas kalor. Secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$C = c m \frac{Q}{m} \quad (20.7)$$

Satuan kapasitas kalor adalah J/K. Jika Persamaan (20.6) dan Persamaan

(20.7) diuraikan, besarnya kalor suatu zat adalah

$$Q = m c \Delta T \quad (20.8)$$

$$Q = C \Delta T \quad (20.9)$$

Tabel 20.1 Kalor jenis sejumlah zat (dari berbagai sumber)

Zat	Kalor Jenis	
	Satuan kal/g ⁰ C	Satuan J/g ⁰ C
Aluminium	0,214	0,897
Argon	0,124	0,5203
Tembaga	0,092	0,385
Intan	0,122	0,5091
Etanol	0,583	2,44
Kaca	0,2	0,84
Grafit	0,17	0,710
Emas	0,03	0,129
Hidrogen	3,418	14,30
Besi	0,108	0,450
Timbal	0,031	0,129

Zat	Kalor Jenis	
	Satuan kal/g ⁰ C	Satuan J/g ⁰ C
Air raksa	0,033	0,1395
Lilin	0,598	2,5
Perak	0,056	0,233
Titanium	0,125	0,523
Baja	0,111	0,466
Air	1,00	4,184
Es	0,504	2,108
Seng	0,092	0,387

Kalor Laten

Sebuah benda dapat berubah wujud ketika diberi kalor. Coba Anda perhatikan perilaku suatu benda ketika dipanaskan. Apabila suatu zat padat, misalnya es dipanaskan, es tersebut akan menyerap kalor dan beberapa lama kemudian berubah wujud menjadi zat cair. Perubahan wujud zat dari padat menjadi cair ini disebut proses melebur. Temperatur pada saat zat mengalami peleburan disebut titik lebur zat. Adapun proses perubahan wujud zat dari cair menjadi padat disebut sebagai proses pembekuan dan temperatur Ketika zat mengalami proses pembekuan disebut titik beku zat.

Jika zat cair dipanaskan akan menguap dan berubah wujud menjadi gas. Perubahan wujud dari zat cair menjadi uap (gas) disebut menguap. Pada peristiwa penguapan dibutuhkan kalor. Proses penguapan dapat terjadi dalam kehidupan sehari-hari, misalnya Anda mencelupkan tangan Anda ke dalam cairan spiritus atau alkohol. Spiritus atau alkohol adalah zat cair yang mudah menguap. Untuk melakukan penguapan ini, spiritus atau alkohol menyerap panas dari tangan Anda sehingga tangan Anda terasa dingin. Peristiwa lain yang memperlihatkan bahwa proses penguapan membutuhkan kalor adalah pada air yang mendidih.

Penguapan hanya terjadi pada permukaan zat cair dan dapat terjadi pada sembarang temperatur, sedangkan mendidih hanya terjadi pada seluruh bagian zat cair dan hanya terjadi pada temperatur tertentu yang disebut dengan titik didih. Proses kebalikan dari menguap adalah *mengembun*, yakni perubahan wujud dari uap menjadi cair.

Ketika sedang berubah wujud, baik melebur, membeku, menguap, dan mengembun, temperatur zat akan tetap, walaupun terdapat pelepasan atau penyerapan kalor. Dengan demikian, terdapat sejumlah kalor yang di lepaskan atau diserap pada saat perubahan wujud zat, tetapi tidak digunakan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur. Kalor ini disebut sebagai *kalor laten* dan disimbolkan dengan huruf *L*. Besarnya kalor ini bergantung pada jumlah zat yang mengalami perubahan wujud (massa benda). Jadi, kalor laten adalah kalor yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk mengubah wujudnya per satuan massa. Mengapa kalor yang diserap oleh suatu zat padat ketika melebur atau menguap tidak dapat menaikkan temperaturnya? Berdasarkan teori kinetik, pada saat melebur atau menguap, kecepatan getaran molekul bernilai maksimum. Kalor yang diserap tidak menambah kecepatannya, tetapi digunakan untuk melawan gaya ikat antar molekul zat tersebut. Ketika molekul-molekul ini melepaskan diri dari ikatannya, zat padat berubah menjadi zat cair atau zat cair berubah menjadi gas. Setelah seluruh zat padat melebur atau menguap, temperatur zat akan bertambah kembali. Peristiwa kebalikannya terjadi juga pada saat melebur, membeku, atau mengembun. Kalor laten pembekuan besarnya sama dengan kalor laten peleburan yang disebut sebagai kalor lebur. Kalor lebur es *L* pada temperatur dan tekanan normal adalah 334 kJ/kg. Kalor laten penguapan besarnya sama dengan kalor laten pengembunan, yang disebut sebagai kalor uap. Kalor uap air *L* pada temperatur dan tekanan normal adalah 2.256 kJ/kg.

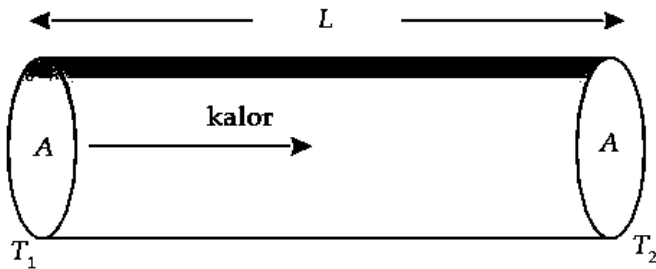
Perpindahan Kalor

Pada sebuah benda, perpindahan kalor atau perambatan kalor terjadi dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Kalor dapat merambat dengan tiga cara, di antaranya secara konduksi (hantaran), secara konveksi (aliran), dan secara radiasi (pancaran). Berikut pembahasan mengenai setiap jenis perambatan kalor tersebut.

1. Konduksi

Jika salah satu ujung batang logam dimasukkan ke dalam api atau dipanaskan, ujung batang yang lainnya akan ikut menjadi panas, walaupun tidak ikut dimasukkan ke dalam api. Mengapa

demikian? Atom-atom di dalam zat padat yang dipanaskan tersebut akan bergetar dengan sangat kuat. Kemudian, atom-atom tersebut akan memindahkan sebagian energi yang dimilikinya ke atom-atom tetangga terdekat yang ditumbuknya. Atom tetangga ini menumbuk atom tetangga lainnya dan seterusnya sehingga terjadi hantaran energi di dalam zat padat tersebut. Untuk bahan logam, terdapat elektron-elektron yang dapat bergerak bebas yang juga ikut berperan dalam merambatkan energi tersebut. Perpindahan kalor yang tidak diikuti perpindahan massa ini disebut konduksi



Gambar 20.3 Rambatan kalor di dalam konduktor. (Sumber: Wilson/Medsan)

Kalor yang mengalir dalam batang per satuan waktu dapat dinyatakan dalam hubungan:

$$H = KA \frac{\Delta T}{L} \quad (20.10)$$

$$H = KA \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (20.11)$$

dengan:

- T₁ = ujung batang logam bersuhu tinggi,
- T₂ = ujung batang logam bersuhu rendah,
- A = luas penampang hantaran kalor dan batang logam,
- L = panjang batang,
- K = koefisien konduksi termal, dan
- H = jumlah kalor yang merambat pada batang per satuan waktu per satuan luas.

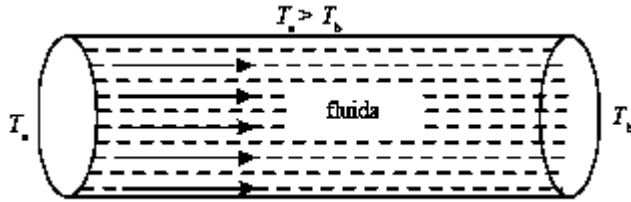
Dalam kehidupan sehari-hari, contoh peristiwa konduksi ini dapat Anda temukan saat Anda memasak makanan. Panci yang digunakan untuk memasak akan mendapatkan panas atau kalor di setiap bagiannya, walaupun bagian panci yang terkena api hanyalah di bagian bawahnya. Perambatan kalor secara konduksi ini juga terjadi pada sendok yang digunakan. Oleh karena itu, tangkai sendok penggorengan dilapisi dengan bahan yang tidak menghantarkan kalor, seperti plastik atau kayu. Berikut tabel yang menyatakan nilai konduktivitas termal beberapa zat.

Tabel 20.2 Konduktivitas Termal Beberapa Zat

Zat/Bahan	$K \left(\frac{\text{kJ}}{\text{ms K}} \right)$
<i>Logam:</i>	
Perak	$4,2 \times 10^{-1}$
Tembaga	$3,8 \times 10^{-1}$
Aluminium	$2,1 \times 10^{-1}$
Kuningan	$1,0 \times 10^{-2}$
Besi/Baja	$4,6 \times 10^{-3}$
<i>Zat Padat Lainnya:</i>	
Beton	$1,7 \times 10^{-3}$
Kaca	$8,0 \times 10^{-4}$
Batu bata	$7,1 \times 10^{-4}$
Kayu cemara	$1,2 \times 10^{-4}$
<i>Zat cair:</i>	
Air	$5,7 \times 10^{-4}$
<i>Bahan isolator:</i>	
Serbuk gergaji	$5,9 \times 10^{-5}$
Gabus	$4,0 \times 10^{-5}$
Wol gelas	$3,9 \times 10^{-5}$
Kapuk	$3,5 \times 10^{-5}$
<i>Gas:</i>	
Hidrogen	$1,7 \times 10^{-4}$
Udara	$2,3 \times 10^{-5}$

2. Konveksi

Perambatan kalor yang disertai perpindahan massa atau perpindahan partikel-partikel zat perantaranya disebut perpindahan kalor secara aliran atau konveksi. Rambatan kalor konveksi terjadi pada fluida atau zat alir, seperti pada zat cair, gas, atau udara.



Gambar 20.4 Rambatan kalor di dalam gas. (Sumber: Pribadi)

Apabila dua sisi yang berhadapan dari silinder pada Gambar 20.3 suhunya berbeda, akan terjadi aliran kalor dari dinding yang bersuhu T_a ke dinding yang bersuhu T_b . Besarnya kalor yang merambat tiap satuan waktu, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$H = hA \Delta T \quad (20.12)$$

dengan:

- H = jumlah kalor yang berpindah tiap satuan waktu,
- A = luas penampang aliran,
- ΔT = perbedaan temperatur antara kedua tempat fluida mengalir, dan
- h = koefisien konveksi termal.

Besarnya koefisien konveksi termal dari suatu fluida bergantung pada bentuk dan kedudukan geometrik permukaan-permukaan bidang aliran serta bergantung pula pada sifat fluida perantaranya

3. Radiasi

Matahari merupakan sumber energi utama bagi manusia di permukaan bumi ini. Energi yang dipancarkan Matahari sampai di Bumi berupa gelombang elektromagnetik. Cara perambatannya disebut sebagai radiasi, yang tidak memerlukan adanya medium zat perantara. Semua benda setiap saat memancarkan energi radiasi dan jika telah mencapai kesetimbangan termal atau temperatur benda sama dengan temperatur lingkungan, benda tersebut tidak akan memancarkan radiasi lagi. Dalam kesetimbangan ini, jumlah energi yang dipancarkan sama dengan jumlah energi yang diserap oleh benda tersebut.

Dari hasil percobaan yang dilakukan oleh Josef Stefan dan Ludwig Boltzmann, diperoleh besarnya energi per satuan luas per satuan waktu yang dipancarkan oleh benda yang bersuhu T , yakni

$$W = e \sigma T^4 \quad (20.13)$$

dengan:

W = energi yang dipancarkan per satuan luas per satuan waktu (watt/m²),

σ = konstanta Stefan–Boltzmann = $5,672 \times 10^{-8}$ watt/m² K⁴

T = temperatur mutlak benda (K), dan

e = koefisien emisivitas ($0 < e \leq 1$).

Daftar Pustaka

- A. Tipler, Paul. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1. Penerbit. Erlangga : Jakarta
- Abdullah, M. 2016. Fisika Dasar 1. Institut Teknologi Bandung
- Cengel, Y. A. (2004). Heat Transference a Practical Approach. In *MacGraw-Hill*, (Vol. 4, Issue 9). http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_5
- Saripuddin, Aip, dkk (2018). Praktis Belajar Fisika 1. Penerbit . PT Grafindo Media Pratama Indonesia

Profil Penulis



Wilson Jefriyanto, M.Si

Penulis menamatkan Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas di Pomalaa, Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara tahun 2010. Kemudian melanjutkan studi S1 di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Makassar dan mendapatkan gelar Sarjana Sains pada tahun 2015. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi S2 Magister Fisika di Institut Teknologi Bandung dan berhasil menyelesaikan studi pada tahun 2017. Saat menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti seminar dan pertemuan-pertemuan ilmiah serta mempublikasikan hasil penelitian pada prosiding/jurnal ilmiah baik skala nasional maupun internasional. Pada tahun 2018, penulis diangkat menjadi dosen tetap di Prodi Pendidikan Fisika Universitas Kristen Indonesia Toraja. Selain mengajar penulis juga aktif dalam melaksanakan penelitian yang dibiayai oleh DRPM Dikti dan internal kampus. Pada tahun 2022, penulis berpindah tugas ke Kalimantan Tengah dan menjadi dosen tetap di Universitas Palangka Raya pada prodi S1 Fisika hingga saat ini. Beberapa buku yang telah ditulis bersama penulis lain dalam bentuk *bookchapter* antara lain; *Kinematika Partikel dan Media Pembelajaran Berbasis Digital*.

Email Penulis: wilsonjefriyanto@gmail.com

Jumiarti Andi Lolo
Universitas Kristen Indonesia Toraja

Pendahuluan

Termodinamika adalah ilmu fisika yang mempelajari perubahan energi dalam suatu sistem dan cara memanfaatkannya untuk melakukan kerja. Termodinamika mempelajari sistem yang terdiri dari benda-benda fisik, seperti gas, cairan dan padatan. Sistem tersebut memiliki energi, yang dapat berupa energi kinetik (gerakan) dan energi potensial (posisi dan keadaan sistem). Dalam termodinamika, energi dianggap sebagai sesuatu yang dapat diukur dan dihitung.

Pada umumnya, terdapat dua jenis sistem dalam termodinamika, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Sistem terbuka adalah sistem yang dapat menerima atau melepaskan energi dari lingkungannya, seperti pompa air yang menarik air dari sumur dan melepaskannya ke tangki. Sementara itu, sistem tertutup adalah sistem yang tidak menerima atau melepaskan energi dari lingkungannya, seperti sebuah bola yang terjebak dalam kotak.

Dalam termodinamika terdapat konsep dasar yang penting, diantaranya:

1. Suhu

Suhu adalah ukuran dari derajat panas atau dingin suatu benda. Suhu dapat diukur dengan menggunakan termometer, dan umumnya dinyatakan dalam satuan derajat Celcius atau Fahrenheit

2. Tekanan

Tekanan adalah ukuran dari gaya yang diberikan pada suatu luas permukaan. Tekanan dapat diukur menggunakan alat seperti manometer dan barometer, dan umumnya dinyatakan dalam Pascal atau atm.

3. Volume

Volume adalah ukuran dari ruang yang ditempati oleh suatu benda. Volume dapat diukur menggunakan alat seperti pipet dan buret, dan umumnya dinyatakan dalam satuan liter dan meter kubik.

4. Entropi

Entropi adalah ukuran dari ketidakteraturan suatu sistem. Entropi selalu meningkat atau setidaknya tidak berubah dalam suatu proses termodinamika yang tertutup sesuai dengan Hukum Kedua Termodinamika.

5. Energi Internal

Energi Internal adalah energi yang dimiliki oleh suatu sistem dalam bentuk energi kinetik dan energi potensial. Energi internal dapat diubah oleh panas atau kerja yang masuk atau keluar dari sistem.

Termodinamika diterapkan dalam banyak bidang kehidupan, diantaranya:

1. Pembangkit listrik
2. Penggunaan bahan bakar
3. Pendinginan dan pemanasan ruangan
4. Pembuatan kulkas dan AC
5. Pengolahan makanan
6. Perancangan mesin-mesin, seperti mesin pesawat terbang, mobil dan kapal laut.

Dalam praktiknya, termodinamika sangat kompleks dan sering membutuhkan perhitungan matematika yang rumit. Namun, pemahaman dasar tentang konsep-konsep termodinamika sangat penting untuk memahami berbagai fenomena fisika dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.

Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama Termodinamika, juga dikenal sebagai Hukum Kekekalan Energi, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya dapat diubah bentuknya dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Dengan kata lain, jumlah total energi dalam suatu sistem tertutup adalah konstan.

Hukum ini menyediakan dasar teoritis bagi konsep energi dalam termodinamika. Konsep energi dalam termodinamika mencakup energi dalam bentuk panas, energi kinetik, dan energi kimia. Oleh karena itu, perubahan energi dalam suatu sistem selalu sama dengan jumlah energi yang dimasukkan ke dalam sistem dan dikurangi jumlah energi yang keluar dari sistem. Hukum ini dirumuskan dalam persamaan:

$$\Delta U = Q - W$$

dimana ΔU adalah perubahan energi internal dalam sistem, Q adalah panas yang dimasukkan ke dalam sistem, dan W adalah kerja yang dikeluarkan oleh sistem. Dalam persamaan ini, tanda negatif pada kerja menunjukkan bahwa kerja yang dilakukan oleh sistem, mengambil energi dari sistem, sedangkan tanda positif pada panas menunjukkan bahwa panas yang dimasukkan ke dalam sistem menambah energi sistem.

Hukum pertama termodinamika sangat penting dalam berbagai aplikasi teknologi. Misalnya dalam pembangkit listrik, energi panas dari pembakaran bahan bakar yang digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik. Hukum pertama termodinamika memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik selalu sama dengan energi yang dimasukkan ke dalam sistem, dan energi tidak hilang dalam prosesnya.

Selain itu, hukum pertama termodinamika juga diterapkan dalam banyak aplikasi kehidupan sehari-hari, seperti dalam sistem pendingin ruangan, mesin pendingin dan mesin pembakaran dalam.

Proses Termodinamika

Proses termodinamika adalah perubahan kondisi atau keadaan suatu sistem yang berkaitan dengan panas, energi dan kerja. Proses ini diperlakukan dalam ilmu termodinamika, yang mencakup analisis kinerja dan efisien sistem termal, seperti mesin uap, mesin pembakaran dalam, dan sistem pendingin. Proses termodinamika dapat terjadi pada benda atau sistem tertentu, dimana terdapat transfer energi, baik berupa panas atau kerja. Terdapat empat (4) jenis proses termodinamika yang umum, yaitu:

1. Proses Isobarik (Tekanan Konstan)

Proses ini terjadi ketika tekanan sistem tetap konstan. Dalam proses ini, gas atau cairan dibiarkan mengalami perubahan volume, sementara tekanannya tetap sama. Contohnya adalah ketika gas ditekan oleh piston pada tekanan yang sama, sementara

volume ruang gas meningkat. Ini berarti melakukan usaha. Proses Isobarik dapat dinyatakan dengan

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$$

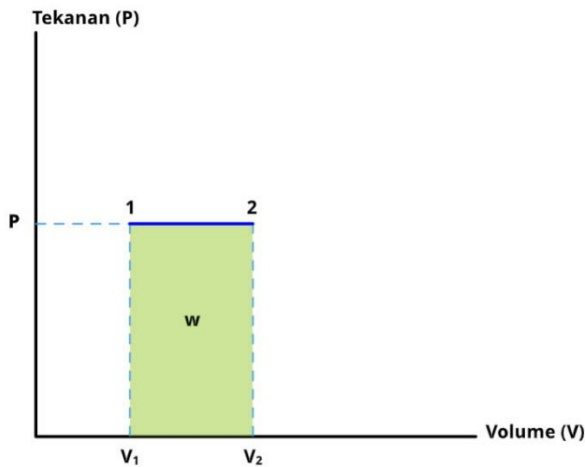
sedangkan besarnya usaha yang dilakukan sama dengan luasan yang di arsir pada grafik di bawah, dan dinyatakan dengan

$$W = P\Delta V = P(V_2 - V_1)$$

dan perubahan energi dalam sistem dinyatakan dengan persamaan berikut

$$\Delta U = Q - W$$

Grafik hubungan tekanan (P) dan volume (V) pada proses isobarik



Gambar 21.1 Grafik hubungan tekanan (P) dan Volume (V) pada proses isobarik

2. Proses Isotermal (Suhu Konstan)

Proses ini terjadi ketika suhu sistem tetap konstan. Dalam proses ini gas atau cairan mengalami perubahan volume, sementara suhu tetap sama. Menurut Hukum Boyle, pada proses ini berlaku persamaan:

$$PV = \text{konstan}$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Berdasarkan persamaan perubahan energi dalam, didapatkan bahwa Usaha yang dilakukan sama dengan jumlah kalor yang diberikan.

$$\Delta U = 0$$

$$\Delta U = Q - W$$

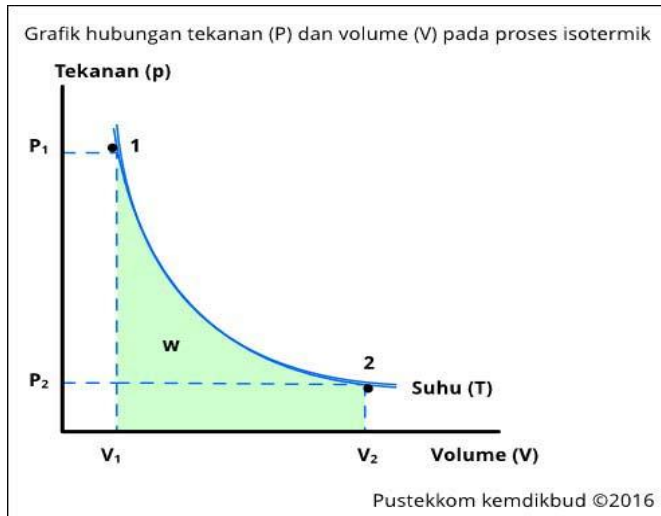
$$0 = Q - W$$

$$Q = W$$

Usaha yang dilakukan gas pada proses ini tidak dapat di hitung dengan persamaan:

$$W = P \times \Delta V$$

Hal ini dikarenakan tekanannya tidak konstan.



Gambar 21.2 Grafik hubungan tekanan (P) dan volume (V) pada proses isoterik

Akan tetapi, usaha dapat dihitung dari luas kurva di atas dengan melakukan pengintegralan sebagai berikut:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

dengan

$$P = \frac{nRT}{V}$$

maka

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

karena n, R dan T konstan, maka persamaannya menjadi

$$W = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

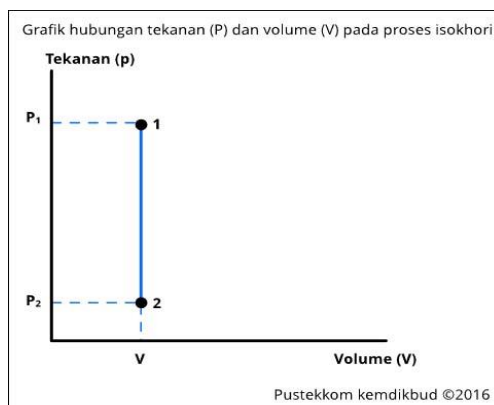
$$W = nRT [\ln]_{V_1}^{V_2}$$

$$W = nRT [\ln V_2 - \ln V_1]$$

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

3. Proses Isokhorik (Volume Tetap)

Proses ini terjadi ketika volume sistem tetap konstan. Dalam proses ini, gas atau cairan tidak mengalami perubahan volume, tetapi suhunya atau tekanannya dapat berubah. Contohnya adalah ketika gas terperangkap dalam ruang tertutup dan diberikan panas atau dingin, tetapi volume ruang tidak berubah. Ini menjelaskan bahwa sistem tidak melakukan atau menerima usaha. Dengan kata lain, usaha yang dilakukan sistem atau yang dilakukan lingkungan pada sistem sama dengan nol ($W = 0$).



Gambar 21.3 Grafik hubungan tekanan (P) dan volume (V) pada proses isokhorik

Pada proses Isokhorik berlaku persamaan :

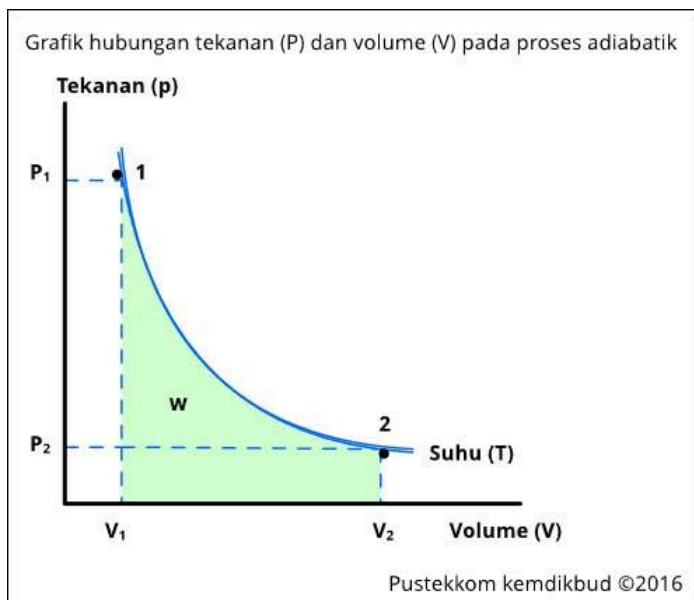
$$\Delta U = Q - W, \text{ dengan } W = 0$$

$$\Delta U = Q - 0$$

$$\Delta U = Q$$

4. Proses Adiabatik

Proses ini terjadi ketika tidak ada transfer panas antara sistem dan sekitarnya. Dalam proses ini, energi masuk atau keluar hanya berupa kerja mekanik. Contohnya adalah ketika gas ditekan oleh piston, tetapi tidak ada transfer panas antara gas dan sekitarnya.



Gambar 21.4 Grafik hubungan tekanan (P) dan volume (V) pada proses adiabatik

Proses Adiabatik berlangsung dalam dinding yang diisolasi termal sepenuhnya dan tidak dapat ditembus benda. Pada proses Adiabatik berlaku rumus Poisson.

$$PV^\gamma = \text{konstan}$$

dengan P adalah tekanan, V adalah Volume, dan γ adalah tetapan Laplace yang dinyatakan dalam:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

untuk gas Ideal, $P = \frac{nRT}{V}$, sehingga persamaan di atas dapat dituliskan menjadi:

$$\begin{aligned} P_1 V_1^\gamma &= P_2 V_2^\gamma \\ \frac{nRT_1}{V_1} V_1^\gamma &= \frac{nRT_2}{V_2} V_2^\gamma \\ T_1 V_1^{\gamma-1} &= T_2 V_2^{\gamma-1} \end{aligned}$$

Adapun usaha pada proses adiabatik dapat ditentukan dengan

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

karena $P = CV^{-\gamma}$, maka

$$\begin{aligned} W &= \int_{V_1}^{V_2} CV^{-\gamma} dV = \frac{C}{1-\gamma} V^{1-\gamma} \Big|_{V_1}^{V_2} \\ &= \frac{C}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) \end{aligned}$$

karena $C = P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$, maka

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2^\gamma V_2^{1-\gamma} - P_1 V_1^\gamma V_1^{1-\gamma}) \\ W &= \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \end{aligned}$$

Seperti yang diketahui bahwa proses adiabatik terjadi ketika tidak ada transfer panas antara sistem dan sekitarnya sehingga $W = -\Delta U$, dan dalam gas monoatomik ΔU dinyatakan dengan

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T = \frac{3}{2} nR (T_2 - T_1)$$

sehingga usaha yang dilakukan oleh sistem pada proses adiabatik dapat juga dituliskan

$$W = -\Delta U = \frac{3}{2} nR (T_2 - T_1)$$

Siklus Termodinamika

Siklus Termodinamika adalah suatu proses termodinamika yang dimulai dan berakhir pada keadaan yang sama, dimana sistem melalui serangkaian perubahan termodinamika yang membawa sistem kembali ke keadaan awalnya.

Secara umum, siklus termodinamika diklasifikasikan dalam dua kategori:

1. Siklus Reversible
2. Siklus Irreversible

Siklus Reversible. Siklus Reversible adalah suatu siklus termodinamika ideal yang dapat dilakukan secara reversible atau terbalik dengan cara memperkecil selisih antara tekanan dan suhu di dalam sistem dengan lingkungan sekitarnya. Dalam siklus reversible, setiap perubahan terjadi sangat lambat sehingga sistem selalu berada dalam keadaan keseimbangan termodinamika dan tidak menghasilkan entropi yang merugikan.

Dalam siklus termodinamika reversible, sistem mengalami perubahan secara berurutan melalui sejumlah keadaan termodinamika yang berbeda. Pada setiap keadaan, sistem memiliki properti termodinamika tertentu, seperti tekanan, volume, suhu, dan energi. Ketika sistem bergerak dari satu keadaan ke keadaan lainnya, tekanan dan suhu dalam sistem selalu mendekati nilai tekanan dan suhu lingkungan, sehingga perbedaan suhu dan tekanan antara sistem dan lingkungan sangat kecil atau bahkan nol. Dalam siklus termodinamika reversible, tidak ada kehilangan energi atau entropi selama perubahan, sehingga efisiensi sistem sangat tinggi dan tidak menghasilkan kerugian atau kehilangan energi.

Siklus reversible adalah ideal, karena hanya dapat dicapai secara teoritis dan sangat sulit dicapai dalam praktik. Namun, konsep siklus reversible sangat penting dalam termodinamika karena memberikan batasan teoritis untuk efisiensi maksimum dari mesin-mesin termal.

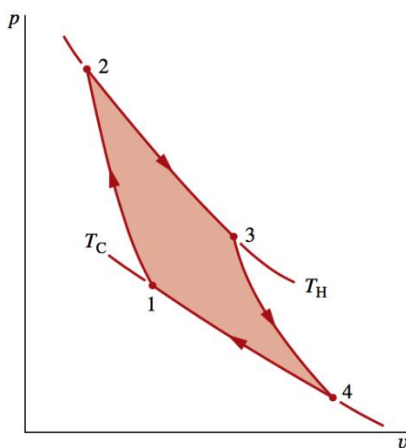
Siklus Irreversible. Siklus Irreversible adalah suatu siklus yang tidak dapat diputarbalikkan secara sempurna atau ideal. Pada siklus ini, perubahan termodinamika yang terjadi pada sistem tidak dapat diubah secara terbalik dengan perubahan yang sangat lambat dan terkendali sehingga seluruh sistem tidak selalu berada dalam keadaan keseimbangan termodinamika. Perubahan tersebut terjadi dengan kecepatan atau intensitas yang lebih tinggi.

Dalam siklus termodinamika irreversible, perubahan pada sistem terjadi dengan cara yang tidak reversible sehingga tidak dapat diubah secara terbalik. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya hambatan fisik, gesekan dan perbedaan tekanan dan suhu yang besar antara sistem dan lingkungan sekitarnya. Kondisi ini menghasilkan kehilangan energi dalam bentuk panas atau entropi yang merugikan, sehingga efisiensi sistem menurun. Siklus termodinamika irreversible juga dapat terjadi pada sistem biologis, seperti tubuh manusia. Selama proses metabolisme, energi dari makanan dapat diubah menjadi energi mekanik dan panas dalam tubuh. Namun selama proses ini, sebagian energi hilang dalam bentuk panas dan entropi, sehingga efisiensi sistem menurun.

Siklus Carnot

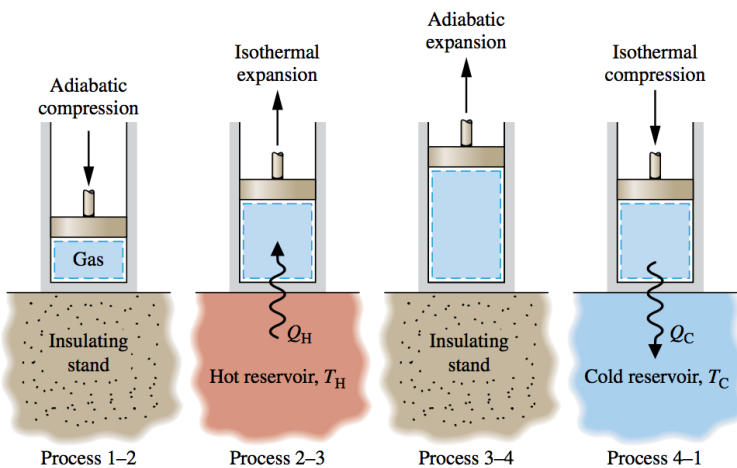
Siklus Carnot adalah siklus termodinamika yang reversible. Siklus ini pertama kali diperkenalkan oleh Nicolas Leonard Sadi Carnot. Siklus Carnot merupakan siklus ideal. Siklus Carnot adalah proses termodinamika yang dialami oleh gas pada mesin Carnot. Siklus ini terdiri atas dua proses isotermal dan dua proses adiabatik. Pada proses isotermal pertama terjadi pada suhu yang lebih tinggi, gas mengalami ekspansi dan menyerap kalor. Proses isotermal kedua terjadi pada suhu rendah, gas mengalami kompresi dan melepas kalor. Garis isotermal pertama dan kedua dihubungkan oleh dua proses adiabatik. Adiabatik pertama zat mengalami ekspansi dan adiabatik kedua gas mengalami kompresi.

Berikut adalah diagram yang menjelaskan siklus Carnot:



Siklus Carnot terdiri atas 4 (empat) tahapan proses, yakni:

1. **Proses 2-3.** *Reversible Isothermal Expansion*, yaitu proses ekspansi (pemuai) fluida kerja, gas yang berada pada suhu konstan. Pada tahap ini, gas menerima panas (Q_H) dari sumber panas dan mengalami kenaikan suhu dan tekanan. Selama tahap ini, gas dikelilingi oleh sumber panas yang memiliki suhu lebih tinggi daripada gas, sehingga gas dapat menyerap panas dari sumber panas tanpa kerugian panas.
2. **Proses 3-4.** *Reversible Adiabatic Expansion*, yaitu sistem berekspansi dengan cara menurunkan tekanannya yang mengakibatkan suhu juga menurun. Pada tahap ini gas dibiarkan berada dalam ekspansi adiabatik tanpa adanya pertukaran panas dengan lingkungannya sampai suhu turun ke T_C .
3. **Proses 4-1.** *Reversible Isothermal Compression*, proses ini terjadi karena sistem membuang kalor ke lingkungan yang mengakibatkan suhunya turun. Gas melepaskan kalor Q_C ke reservoir dingin dengan suhu T_C dan kerja dikenakan terhadap sistem.
4. **Proses 1-2.** *Reversible Adiabatic Compression*, dimana gas dikembalikan ke keadaan awal (semula) dengan suhu menjadi T_H . Pada proses ini tidak terjadi pertukaran panas antara gas dan lingkungan sekitarnya.



Gambar 21.6 Siklus Carnot dalam Piston-Silinder (Moran, M.J, 2010)

Usaha total yang dilakukan oleh sistem untuk satu siklus sama dengan luas daerah di dalam siklus pada diagram P-V. Mengingat selama proses siklus Carnot sistem menerima kalor Q_H dari reservoir bersuhu tinggi T_H dan melepas kalor Q_C ke reservoir bersuhu rendah T_C , maka usaha yang dilakukan oleh sistem menurut hukum I Termodinamika adalah

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q_H - Q_C = 0 + W$$

$$W = Q_H - Q_C$$

Dalam menilai kerja suatu mesin, efisiensi (η) merupakan faktor yang penting. Untuk mesin kalor, efisiensi mesin ditentukan dari perbandingan usaha yang dilakukan terhadap kalor masukan yang diberikan. Secara matematis dapat dituliskan:

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \times 100\% = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} \times 100\% = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \times 100\%$$

untuk siklus Carnot berlaku hubungan $\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H}$, sehingga efisiensi mesin Carnot dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \times 100\%$$

dengan:

η adalah efisiensi mesin Carnot

T_C adalah suhu reservoir bersuhu rendah (K)

T_H adalah suhu reservoir bersuhu tinggi (K)

Contoh:

Sebuah mesin Carnot bekerja pada reservoir suhu tinggi 600 K mempunyai efisiensi 40%. Tentukanlah suhu reservoir tinggi agar efisiensi mesin menjadi 75% dengan suhu reservoir rendah tetap.

Pembahasan:

Diketahui:

$T_H = 600$ K dengan $\eta = 40\% = 0,4$

Ditanyakan

$T_H = \dots ?$ untuk $\eta = 75\% = 0,75$

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

$$0,4 = \frac{600 - T_C}{600}$$

$$0,4 \times 600 = 600 - T_C$$

$$240 = 600 - T_C$$

$$T_C = 600 - 240$$

$$T_C = 360 \text{ K}$$

T_H agar efisiensi menjadi 75%:

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

$$0,75 = \frac{T_H - 360}{T_H}$$

$$0,75T_H = T_H - 360$$

$$360 = T_H - 0,75T_H$$

$$360 = 0,25 T_H$$

$$T_H = \frac{360}{0,25} = 1440 \text{ K}$$

Daftar Pustaka

- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2010). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons.
- Cengel, Y. A. (1997). *Introduction to thermodynamics and heat transfer* (Vol. 846). New York: McGraw-Hill.
- Pustekkom kemdikbud. 2016
(sumber.belajar.kemdikbud.go.id/repos/FileUpload/Termodinamika-anto/pengembang.html)
- Giancoli, D. C. (2014). *Physics for scientists & engineers with modern physics* (Vol. 762). San Francisco: Pearson.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for scientists and engineers*. Cengage learning.

Profil Penulis



Jumiarti Andi Lolo, S.Si., M.Si.

Lahir di Makale, Tana Toraja, Sulawesi Selatan, Maret 1992. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Hasanuddin pada tahun 2013. Selama menempuh program sarjana, aktif sebagai asisten Praktikum Fisika Dasar I dan Fisika Dasar II (2011-2013). Penulis kemudian melanjutkan studi ke jenjang Magister di Institut Pertanian Bogor (2015-2017). Sebelum melanjutkan pendidikan, penulis sebelumnya adalah guru Fisika di SMA Katolik Rajawali Makassar (2013-2015). Sejak tahun 2017 hingga saat ini penulis merupakan pengajar pada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Kristen Indonesia Toraja. Penulis juga aktif melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Selain sebagai salah satu pilar dari Tri Dharma Perguruan Tinggi, untuk menunjang karir sebagai dosen yang profesional, penulis juga aktif melaksanakan penelitian terutama dalam bidang Rekayasa Material khususnya dalam memanfaatkan limbah. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan Kemenristek DIKTI. Hasil penelitian telah dipublikasikan di Jurnal Internasional Bereputasi, Jurnal Nasional Terakreditasi dan diseminarkan secara oral pada seminar nasional dan seminar internasional. *Book Chapter* ini merupakan buku pertama yang ditulis sehingga masih sangat jauh dari kesempurnaan.

Email Penulis: miaandilolo@ukitoraja.ac.id

TERMODINAMIKA 2

Dairoh

Politeknik Harapan Bersama

Hukum II termodinamika berbunyi “kalor mengalir secara alami dari benda yang panas ke benda yang dingin, kalor tidak akan dapat mengalir secara spontan dari benda dingin ke benda panas”. Dengan bunyi hukum II termodinamika tersebut, bahwa didalam hukum II termodinamika ini ada batasan-batasan yakni batasan terhadap perubahan energi yang kemungkinan terjadi, dengan beberapa rumusan antara lain (David Halliday et al., 2010):

1. Perumusan Kelvin Planck bahwa tidak mungkin bahwa membuat mesin yang bekerja dalam satu siklus, menerima kalor dari sebuah reservoir dan mengubah seluruhnya menjadi energi atau usaha luas.
2. Perumusan Clausius bahwa tidak mungkin membuat mesin yang bekerja pada suatu siklus mengambil kalor dari sebuah reservoir rendah dan memberikan pada reservoir bersuhu tinggi tanpa memerlukan usaha dari luar.
3. Perumusan Clausius bahwa dalam proses reversible, total entropi semesta tidak berubah dan akan bertambah ketika terjadi proses irreversible.
4. Berdasarkan entropi bahwa total entropi semesta tidak berubah jika proses reversible terjadi dan bertambah ketika proses irreversible terjadi.

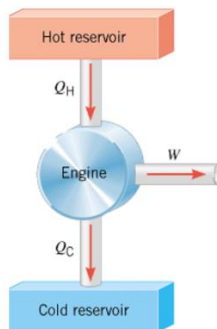
Hukum II termodinamika bahwa seluruh pertukaran energi, jika tidak ada energi yang masuk atau keluar sistem maka energi potensial akan selalu kurang dari kondisi atau keadaan awal. Sehingga gambaran sederhana dari hukum II termodinamika ini menyatakan proses transfer

energi hanya terjadi pada satu arah. Sebagai contoh adalah teh panas dalam gelas yang berada diruangan. Dimana semakin lama teh panas tersebut maka semakin dingin. Hal ini sebaliknya jika teh dingin yang semakin panas tidak akan terjadi jika tidak diberi energi dari lingkungan.

Hukum ini memberikan suatu konsep baru yaitu entropi yang akan dijelaskan pada sub pokok bagian berikutnya.

Efisiensi Mesin

Didalam Hukum II termodinamika bahwa mesin kalor atau mesin Carnot didefinisikan sebagai alat yang mengubah sebagian panas menjadi sebuah usaha mekanik. Mesin kalor bekerja dengan dua reservoir yakni reservoir panas (suhu tinggi) dan reservoir suhu rendah (reservoir dingin). Mesin bekerja dengan dua reservoir, yaitu reservoir suhu tinggi (reservoir panas) dan reservoir suhu rendah (reservoir dingin) (Monintja, 2020). Gambaran dari mesin kalor seperti pada gambar 22.1 berikut:



Gambar 22.1. Proses aliran energi pada mesin kalor

Sumber: <http://rahmanisfi.blogspot.com/2015/03/skema-mesin-kalor.html>

Pada gambar 22.1 dalam satu siklus bahwa Q_H menunjukkan besarnya kalor yang diserap mesin dari reservoir panas (Q_1), kemudian Q_C menunjukkan besarnya kalor yang di buang mesin reservoir dingin (Q_2). Pada Gambar 22.1 bahwa aliran energi pada mesin kalor menyerap Q_1 dari reservoir panas kemudian mengalirkan kalor Q_2 ke reservoir dingin dan menghasilkan Usaha mekanik W . Adapun besarnya nilai W yang dihasilkan seperti pada persamaan 22.1 (Warokka & Boedi, 2021) berikut:

$$W = Q_1 - Q_2 \dots \dots \dots (22.1)$$

Dari persamaan 22.1 diatas maka idealnya nilai Q_1 menjadi Usaha (W), sehingga nilai $Q_1=W$ dan nilai $Q_2 = 0$, akan tetapi kondisi ini tidak mungkin terwujud (tercapai) yang artinya bahwa dalam mesin kalor selalu terdapat sebagian kalor yang terbuang sehingga Q_2 tidak pernah sama dengan nol ($Q_2 \neq 0$). Pada mesin kalor bahwa banyak sedikitnya kalor yang terbuang ini didalam mesin efisiensi yang digunakan. Besarnya mesin efisiensi atau yang disimbolkan dengan η yang didefinisikan sebagai sebuah nilai perbandingan antara usaha yang dilakukan dan kalor yng diserap dari sumber suhu tinggi selama satu siklus. Dimana besarnya efisien mesin kalor dituliskan seperti persamaan 22.2 berikut:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots(22.2)$$

Dari pers (22.2) kita substitusikan dengan persam (22.1) sehingga nilai efisien mesin kalor menjadi persamaan (22.3) berikut:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\dots\dots\dots(22.3)$$

Atau dapat dituliskan besarnya efisien mesin kalor seperti pada persamaan (22.3)(David Halliday et al., 2010):

$$\eta = (1 - \frac{Q_2}{Q_1}) \times 100\% \dots\dots\dots(22.4)$$

Dimana:

W = Usaha mesin Kalor atau mesin carnot (J)

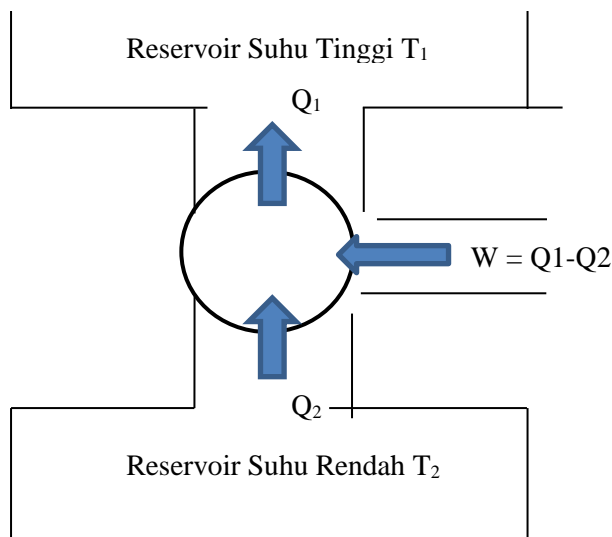
Q_1 = Kalor yag diserap dari reservoir suhu T_1

Q_2 = Kalor yang dibuang pada reservoir suhu T_2

Pada Persamaan (22.1) diatas bawah kondisisi membuat mesin kalor dengan nilai efisien sebesar 100% atau bisa dikatakan bahwa tidak mungkin sebuah mesin kalor mengubah seluruh kalor dari reservoir panas menjadi usaha mekanik. Sehingga hal inilah yang mendasari pernyataan Kevin-Planck pada hukum II Termodinamika bahwa mustahil pada sebuah sistem manapun dapat mengalami proses dengan sistem menyerap panas dari resevoir bersuhu tinggi kemudian mengubah seluruh panas tersebut menjadi usaha mekanik. Dengan kondisi tersebut maka untuk dapat menggerakkan mesin hanya dengan mendinginkan udara disekitar mesin tersebut. Sehingga berlaku mesin pendingin carnot. Mesinpendingin carnot merupakan mesin kalor yang bekerja secara terbalik.

Maksudnya bahwa apabila mesin kalor mengambil kalor dari reservoir panas lalu melepaskan ke reservoir dingin (refrigerator) dan melepaskan ke reservoir panas (udara disekitar / diluar mesin pendingin).

Sehingga apabila mesin kalor menghasilkan usaha mekanik maka mesin pendingin justru memerlukan usaha diluar untuk dapat menjalankannya. Adapun penggambaran dari mesin pendingin seperti pada gambar 22.2 berikut:



Gambar 22.2. Skema aliran energi pendingin(Monintja, 2020)

Pada gambar 22.2 tampak bahwa mesin pendingin menyerap sebuah kalor Q_2 dari sebuah resevoir dingin kemudian menyerap sebuah usaha mekanik W dari luar agar dapat mengalirkan kalor sebesar Q_1 pada reservoir panas. Sehingga dengan kondisi tersebut hal ini adalah merupakan bukti dari pernyataan dari hukum II termodinamika Clasius, yakni bahwa mustahil bagi proses manapun untuk dapat mengalirkan kalor dari reservoir dingin ke dalam resevori panas tanpa membutuhkan atau melibatkan uasaha dari luar.

Contoh:

1. Jika diketahui sebuah kalor dari mesin Carnot dengan suhu 700 K sebesar 1000 kal. Kemudian mesin melepaskan panas ke dalam lingkungan dengan suhu 500 K, maka tentukan lah usaha yang dihasilkan?

Jawaban:

Diketahui:

$$T_1 = 700\text{K}$$

$$T_2 = 500\text{K}$$

$$Q_1 = 1000 \text{ kal, dimana } 1 \text{ kal} = 4.2 \text{ J maka } Q_1 = 4200 \text{ J}$$

Ditanyakan $W = ?$

Penyelesaian:

Nilai efisiensi pada mesin carnot dapat kita cari dengan menggunakan persamaan (22.2) berikut:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\%$$

Efisien pada mesin carnot juga dapat ditentukan dengan persamaan (22.4):

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

Sehingga nilai usaha pada mesin carnot dapat ditentukan besarnya menjadi

$$\frac{W}{Q_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\frac{W}{Q_1} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\frac{W}{4200\text{J}} = \left(1 - \frac{500}{700}\right)$$

$$\frac{W}{4200\text{J}} = \left(1 - \frac{5}{7}\right)$$

$$\frac{W}{4200\text{J}} = \frac{2}{7}$$

$$\text{Sehingga } W = \frac{4200 \times 2}{7} = 1200 \text{ J}$$

Jadi usaha yang dihasilkan dari mesin carnot sebesar 1200 J

Entropi Suatu Sistem

Entropi didalam termodinamika dinyatakan sebagai proses alami yang cenderung bergerak menuju pada keadaan ketidakteraturan yang lebih besar. Dimana ukuran ketidakteraturan ini disebut dengan entropi. Sehingga entropi didefinisikan sebagai besaran termodinamika yang menyerupai perubahan setiap keadaan mulai dari keadaan awal sampai keadaan akhir sistem. Dimana didalam entropi bahwa semakin tinggi entropi suatu sistem menunjukkan sistem tersebut semakin tidak teratur. Entropi juga sama seperti halnya dengan tekanan dan temperatur yang merupakan salah satu sifat dari fisis yang dapat diukur dari sebuah sistem. Hal ini jika sebuah kalor Q diberikan pada sebuah sistem dengan proses reversibel pada suhu yang konstan. Maka nilai perubahan entropi sistem seperti pada persamaan (22.5)

$$dS = \frac{dQ}{dT} \dots\dots\dots(22.5)$$

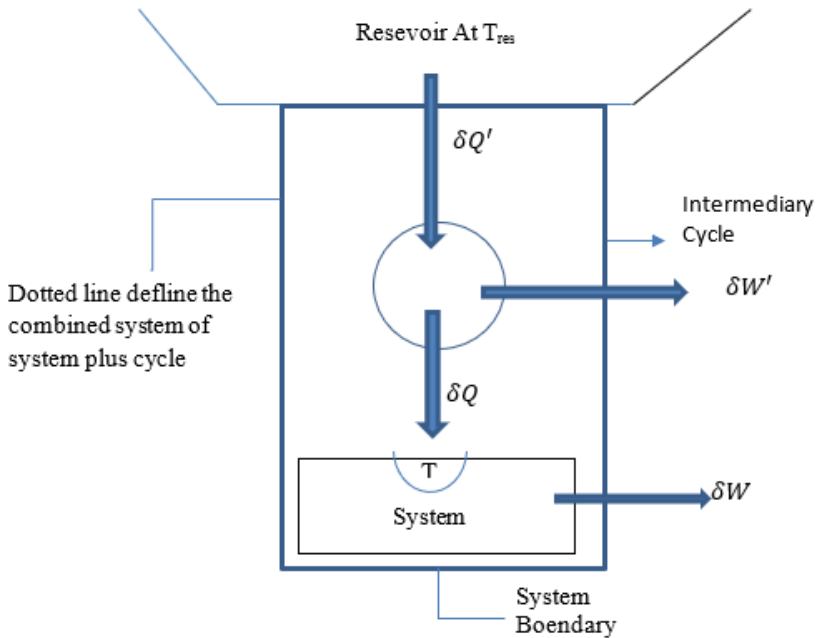
Dengan;

dS = Perubahan entropi (Joule/Kalor)

dQ = Kalor (Joule)

dT = Suhu (Kelvin)

Entropy merupakan sifat dari zat karena itu tidak tergantung proses. Pada Ketidaksamaan Clausius (*Clausius Inequality*) bahwa didalam ketidaksamaan Clausius menjelaskan dasar untuk mengantar dua ide instrumental untuk evaluasi kuantitatif dari sistem tertutup dan volume kontrol dari perspektif hukum II termodinamikay yakni konsep property entropy dan entropy production. gambaran dari ketidaksamaan Clausius (*Clausius Inequality*) seperti pada gambar 22.3 (Monintja, 2020) berikut :



Gambar 22.3. Gambaran ilustrasi dari *Clausius Inequality*(Monintja, 2020)

Pada perumusan Clausius bahwa Tidak ada proses yang hasil akhirnya berupa pengambilan kalor dari reservoir kalor bersuhu rendah dan pembuangan kalor dalam jumlah yang sama kepada suatu reservoir yang bersuhu lebih tinggi. Dimana persamaan Ketidaksamaan Clausius (*Clausius Inequality*) seperti di persamaan (22.6) (Monintja, 2020) berikut:

$$\text{clausius inequality} = \oint c + \frac{\delta Q}{T_b} \delta O \dots\dots\dots(22.6)$$

Dimana

δQ = heat transfer pada bagian batas system selama siklus

T = Temperatur

Pada gambar 22.3 bahwa *Clausius inequality* tampak system menerima energi δQ dilokasi batasnya, dimana temperature absolute T , kemudian system membangkitkan kerja δW . Sehingga dari define 2 Skala kelvin kita dapat menuliskan hubungan dari heat transfer dan temperature seperti pada persamaan (22.7) berikut:

$$\frac{\delta Q'}{T_{res}} = \frac{\delta Q}{T_b} \dots\dots\dots(22.7)$$

Nilai kesetimbangan energi pada gambar 1 besarnya = $dE_c = \delta Q' - \delta W_c$

Dimana

δW_c = total kerja kombinasi sistem, jumlah δW dan $\delta W'$

dE_c = Perubahan energi dari kombinasi sistem

Maka penyelesaian dari persamaan energi δW_c , kemudian menggunakan persamaan (22.7) eliminasi $\delta Q'$ didapatkan nilai δW_c seperti pada persamaan (22.8)

$$T_{res} \frac{\delta Q}{T_b} - dE_c \dots \dots \dots (22.8)$$

Dengan mengamsumsikan sistem mengalami siklus tunggal, maka total kerja dari kombinasi sistem seperti pada persamaan (22.9)

$$W_c - T_{res} \frac{\delta Q}{T_b} + dE_c - T_{res} \frac{\delta Q}{T_b} \dots \dots \dots (22.9)$$

Sehingga Inequality pada persamaan (22.6) dapat dieliminasi dengan persamaan (22.10) berikut:

$$\frac{\delta Q}{T_b} = -\sigma_{siklus} \dots \dots \dots (22.9)$$

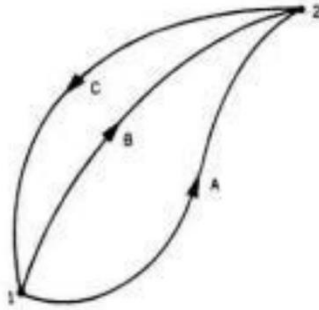
Dengan σ_{siklus} merupakan produk entropy atau tingkatan ketidaksamaan oleh irreversible internal selama siklus. Yang nilai jika:

$\sigma_{siklus} = 0$ (tidak ada ireversibilitas dalam sistem)

$\sigma_{siklus} > 0$ (timbulnya ireversibilitas dalam sistem)

$\sigma_{siklus} < 0$ (tidak mungkin)

Kemudian untuk nilai perubahn entropy pada sebuah entropy merupakan suatu kuantitas yang mana jika dan hanya jika perubahannya dalam harga dari antara dua keadaan yang tergantung pada proses. Adapun gambarnya seperti pada gambar 22.4 berikut:



Gambar 22.4. Dua siklus internal reversible digunakan untuk menunjukkan entropy sebagai property (Monintja, 2020)

Pada gambar 22.4 bahwa dua siklus dijalankan oleh sistem tertutup. Dimana satu siklus terdiri dari proses reversible A dari keadaan 1 ke keadaan 2, kemudian dilanjutkan dengan proses reversible C yakni dari keadaan 2 ke keadaan 1. Untuk siklus lainnya terdiri dari proses reversible B yakni dari keadaan 1 ke keadaan 2 kemudian dilanjutkan dengan proses C dari keadaan 2 ke keadaan 1 seperti pada siklus pertama. Persamaan untuk siklus pertama (22.11):

$$\frac{2\delta Q}{T_A} + \frac{1\delta Q}{T_C} = 0 \dots\dots\dots(22.11)$$

Kemudian untuk siklus satu besarnya seperti pada persamaan (22.12)

$$\frac{2\delta Q}{T_B} + \frac{1\delta Q}{T_C} = 0 \dots\dots\dots(22.12)$$

Sehingga dari pers (22.11) dan pers (22.12) disubstitusikan menjadi

$$\frac{2\delta Q}{T_A} = \frac{2\delta Q}{T_B} \dots\dots\dots(22.13)$$

Dari persamaan (22.13) tersebut menunjukkan bahwa integral untuk kedua proses adalah $\delta Q/T$, sehingga dapat dikatakan bahwa harga integral tergantung pada atau hanya keadaan akhir. Oleh karena itu integral didefinisikan sebagai perubahan dalam property 4 sistem. Dimana menentukan S untuk menunjukkan property sehingga perubahannya menjadi persamaan (22.14) berikut:

$$\frac{2\delta Q}{T_{int rev}} = S_2 - S_1 \dots\dots\dots(22.14)$$

Entropy merupakan property ekstensive. Adapun entropi dari zat murni, dimana harga entropi pada keadaan y relative terhadap nilai

pada keadaan referensi x sehingga diperoleh prinsip integrasi seperti pada persamaan (22.15)

$$x + \frac{2\delta Q}{T_{int rev}} + S_x = S_y \dots\dots\dots (22.15)$$

Dengan S_x adalah harga entropy khusus pada keadaan referensi. Sehingga perubahan entropy dapat dituliskan persamaannya seperti pada persamaan (22.16) berikut:

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{int rev} \dots\dots\dots (22.16)$$

Kemudian data entropy untuk air dan refrigerator untuk masing keadaan. Pada data keadaan jenuh seperti pada persamaan (22.17)

$$S = (1 - x)s_f + xs_{fg} = S_f + x(S_g - S_f) \dots\dots\dots (22.17)$$

Sedangkan untuk data cairan dituliskan persamaannya seperti pada persamaan (22.18)

$$S(T,p) \approx S_f(T) \dots\dots\dots (22.18)$$

Selanjutnya adalah persamaan $T dS$ didalam perubahan entropy. Perubahan entropy pada kedua keadaan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (22.14). Dimana setiap evaluasi diarahkan dengan menggunakan persamaan $T dS$. Dimana Asumsi suatu zat murni, system kompresible sederhana reversible internal. Jika terdapt pengaruh gerakan dan grafitasi diabaikan maka, nilai kesetimbangan energinya seperti pada persamaan (22.19):

$$(\delta Q)_{int rev} = dU + (\delta W)_{int rev} \dots\dots\dots (22.18)$$

Dimana dengan mendefinisikan sistem kompresible sederhana kerja diberikan maka didapatkan persamaan (22.19)

$$(\delta W)_{int rev} = pdV \dots\dots\dots (22.19)$$

Sehingga pada persamaan diferensial didefinisikan pada perubahan entropy (Pers 22.14) yang terbentuk seperti pada persamaan (22.20) berikut:

$$\frac{2\delta Q}{T_{int erv}} = dS \text{ atau } (\delta Q)_{int rev} = TdS \dots\dots\dots (22.20)$$

Dari pers (22.18), pers (22.19) dan pers (22.20) maka diperoleh persamaan $T dS$ pertama seperti pada persamaan (22.21)

$$TdS = dU + pdV \dots\dots\dots (22.21)$$

Sehingga dari persamaan (22.21) didapatkan persamaan TdS ke dua yang bentuk persamaanya menggunakan pada pers (22.22) berikut:

$$H = U + p dV \dots\dots\dots (22.22)$$

Untuk bentuk diferensial pada pers (22.22) adalah $dH = dU + d(pV) = dU + pdV + Vdp$ atau bentuk laian dari diferensial nya adalah $dU + pdV = dH - Vdp$. Dari bentuk diferensial tersebut kita substitusikan kedalam persamaan (22.22) sehingga didapatkan persamaan T dS seperti pada persamaan (22.23)

$$T dS = T dS = dH - Vdp \dots\dots\dots (22.23)$$

Sedangkan untuk persamaan TdS dapat dituliskan juga dalam bentuk unit massa seperti pada persamaan (22.24)

$$T dS = du + pdv \text{ atau } TdS = dh - vdp \dots\dots\dots (22.24)$$

Kemudian untuk perubahan entropy pada gas ideal maka persamaan TdS digunakan untuk melakukan evaluasi perubahan entropy antara dua keadaan proses gas ideal. Sehingga persamaan (22.24) digunakan untuk merumuskan maka didapatkan persamaan (22.25) dan persamaan (22.26)(Monintja, 2020)(David Halliday et al., 2010) berikut

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{pdv}{T} \dots\dots\dots (22.25)$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{vdp}{T} \dots\dots\dots (22.26)$$

Dimana gas ideal = $du = c_v(T) dT$, $dh = c_p(T) dT$ dan $pv = RT$ selanjutnya disubstitusikan ke pers (22.25) dan pers (22.26) maka persamaan tersebut menjadi seperti pada persamaan (22.26)

$$dS = C_v(T) \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} \text{ dan } ds = C_p(T) \frac{dT}{T} + R \frac{dp}{p} \dots\dots\dots (22.26)$$

Dengan R merupakan konstanta sehingga pers (22.26) suku kedua dapat langsung di integralkan, namun dikarenakan c_v dan c_p merupakan fungsi temperature untuk gas ideal umumnya memiliki informasi tentang fungsi hubungan sebelum integrasi suku pertama maka persamaan ini dapat dilakukan. Maka dua panas di hubungkan dengan $c_v(T) = c_p(T) - R$ maka pers (22.26) menjadi

$$s(T_2, v_2) - s(T_1, v_1) = C_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \dots\dots\dots (22.27)$$

$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_1) = C_{vp}(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{p_2}{p_1} \dots\dots\dots (22.28)$$

Untuk mengimplementasikan persamaan tersebut dapat kita lakukan dengan memilih keadaan referensi dan harga referensi. Harga referensi

entropy spesifik nya = 0 dengan keadaan nilai temperturnya 0 K dan nilai tekanan 1 Atm. Selanjutnya gunakan pers (22.27) untuk mencari relative terhadap keadaan referensi dan harga referensi seperti pada persamaan (22.29):

$$s_o(T) = \frac{C_p(T)}{TdT} \dots\dots\dots (22.28)$$

Dimana $s_o(T)$ merupakan entropy spesifik pada temperature T dan Tekanan 1 Atm. Oleh karena itu, s_o hanya bergantung pada temperature entropy spesifik sehingga dapat ditabelkam terhadap temperature missal h dan u. Sehingga pada udara gas ideal s_o dari t maka integral persamaan (22.27) dapat kita tuliskan dalam bentuk s_o seperti pada persamaan (22.30) berikut

$$C_p(T) \frac{dT}{T} = C_p(T) \frac{dT}{T} - C_p(T) \frac{dT}{T} = s_o(T_2) - s_o(T_1) \dots\dots\dots (22.29)$$

Kemudian persamaan 22.28 (Young et al., 2009) menjadi

$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_2) = (T_2) - s_o(T_1) - R \ln \frac{p_2}{p_1} \dots\dots\dots (22.30)$$

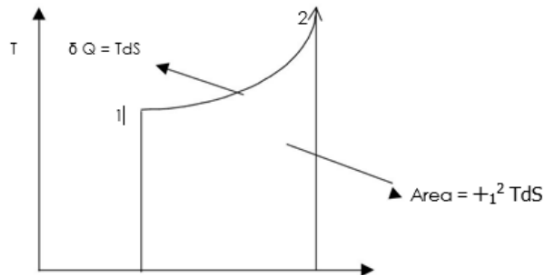
Kemudian untuk perubahan entropy pada zat incompressible. Pada keadaan gas ideal sudah jelaskan bahwa volume spesifik (densitas) adalah konstan dan panas spesifik tergantung semata-mata pada temperature, $c_v = c(T)$. Dengan demikian perubahan dalam energi dalam spesifik adalah $du = c(T) dT$ dan persamaan (22.25) menjadi

$$ds = \frac{c(T)dT}{T} + \frac{pdv}{T} = \frac{c(T)dT}{T} \dots\dots\dots (22.30)$$

Kemudian selanjutnya adalah menentukan berapa nilai perubahan entropy pada proses reversible internal. Pada reversible internal dibatasi untuk system tertutup. Sistem tertutup ini mengalami proses reversible internal untuk entropy meningkat, menurun dan konstanta dengan nilai $ds = \frac{\delta Q}{T_{nt rev}}$. Dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa ketika system tertutup mengalami proses reversible internal yang menerima energi dari heat transfer kemudian perjalanannya meningkat dalam entropy. Begitu juga dengan sebalik jika energi dilepas dari sistem heat transfer maka entropy sistem menurun. Pada proses reversible internal adiabatic entropy akan konstan. Proses entropy konstan disebut proses isentropis maka pers (22.19) yang di integralkan dari keadaan awal 1 dan keadaan akhir 2 maka didapatlam (persamaan 22.31)

$$Q_{int rev} = +1^2 T ds \dots\dots\dots (22.31)$$

Sehingga dari persamaan Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa tranfers energi oleh panas terhadap system tertutup selama proses *reversible* internal dapat dipresentasikan sebagai luasan pada diagram temperature-entropi seperti pada gambar 22.5.



Gambar 22.5. Luasan menunjukkan *heat tranfers* pada proses internal reversible (Monintja, 2020)

Contoh soal:

1. Sebuah air memiliki saturated liquidnya bersuhu 100 C yang diisikan kedalam piston silinder. Kemudian air mengalami proses keadaan saturated pada vapor dimana piston tersebut bergerak bebas. Jika diketahui perubahan keadaan yang dibawa oleh pemanas air tersebut mengalami proses reversible internal pada tekanan dan temperature konstan. maka tentukan kerja heat transfer perunit massanya?

Jawab:

Kita gunakan asumsi:

- Air dalam rangkaian piston-silinder adalah closed system
- Proses adalah secara internal reversible
- Temperature dan tekanan konstan selama proses
- Tidak ada perubahan energi kinetic dan potensial antara dua keadaan

Sehingga kerja pada tekanan konstan

$$\begin{aligned} \frac{W}{m} &= \int p dv = p(v_g - v_f) \\ &= 1,014 \times 10^5 \frac{N}{m^2} \frac{1673 - 1,0435 m^3}{10^3} \frac{1 kJ}{kg \cdot 10^3 Nm} = \frac{170 kJ}{kg} \end{aligned}$$

Daftar Pustaka

David Halliday, Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fundamentals of Physics*. In *New York*.

Monintja, N. C. (2020). *Termodinamika Teknik II*. In *Unsrat Press* (Vol. 1).

Warokka, A., & Boedi, S. (2021). *Termodinamika Teknik*. In *Polimdo Press*.

Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, A. L. (2009). *Fisica Universitaria Volumen 1*.

<http://rahmanisfi.blogspot.com/2015/03/skema-mesin-kalor.html>

Profil Penulis



Dairoh, M.Sc

Penulis tertarik dengan belajar matematika saat mengambil keputusan untuk belajar fisika di Universitas Jenderal Soedirman di tahun 2006 dan Lulus di tahun 2010. Kemudian penulis melanjutkan studi S2 di ilmu Fisika Universitas Gadjah Mada dan lulus di tahun 2012.

Penulis tertarik dalam bidang komputasi dan Data Science. Hal ini diwujudkan dan bergabung di menjadi dosen di Politeknik Harapan Bersama di Tegal sejak 2014 tepatnya di Program Studi Sarjana Terapan Teknik Informatika. Dalam Prodi tersebut penulis mengisi pengajaran pada mata kuliah Kalkulus, Matematika diskrit, Aljabar linier, Matematika Numerik dan Fisika Teknik. Selain itu penulis juga rutin melaksanakan tri dharma perguruan tinggi guna meningkatkan profesionalisme dosen, penulis juga aktif melakukan penelitian dengan pengabdian yang di biaya mitra, Dikti dan Institusi. Penulis juga aktif melakukan publikasi. Selain meneliti penulis terus belajar untuk menulis buku yan dapat dimanfaatkan dalam media pembelajaran di ruang kuliah.

Email Penulis: dairoh@poltektegal.ac.id

Indonesia
menulis

- 1 KONSEP DASAR FISIKA DASAR
Sudirman
- 2 BESARAN, SATUAN DAN PENGUKURAN
Silka
- 3 KINEMATIKA DIMENSI 1
Hadriyanti
- 4 KINEMATIKA DIMENSI 2
I Putu Tedy Indrayana
- 5 HUKUM NEWTON
Gabriela Elsandika
- 6 DINAMIKA GERAK
Santih Anggereni
- 7 KINEMATIKA ROTASI
Neny Kurniawati
- 8 GAYA DAN USAHA
Reni Agustiani
- 9 ENERGI
Gusti Ayu Rai Tirta
- 10 MOMENTUM LINEAR
Sri Mayanty
- 11 DINAMIKA ROTASI
Febri Rismaningsih
- 12 KESETIMBANGAN BENDA TEGAR
Jan Setiawan
- 13 ELASTISITAS
Icha Untari Meidji
- 14 TEGANGAN DAN REGANGAN
Mawarni Saputri
- 15 FLUIDA 1
Muh. Said L
- 16 FLUIDA 2
Yunita Nur Afifah
- 17 PERSAMAAN BERNOULLI
Erwinda Fenty Anggraeni
- 18 TEMPERATUR
Sitti Nurrahmi
- 19 TEORI KINETIK GAS
Rafika Sari
- 20 KALOR
Wilson Jefriyanto
- 21 TERMODINAMIKA
Jumiarti Andi Lolo
- 22 TERMODINAMIKA 2
Dairoh

Editor:

Suci Haryanti

Untuk akses **Buku Digital**,
Scan **QR CODE**



Media Sains Indonesia
Melong Asih Regency B.40, Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
Email : penerbit@medsan.co.id
Website : www.medsan.co.id



ISBN 978-623-195-302-5 (no.jil.lengkap)

ISBN 978-623-195-303-2 (jil.1 PDF)



9 786231 953032