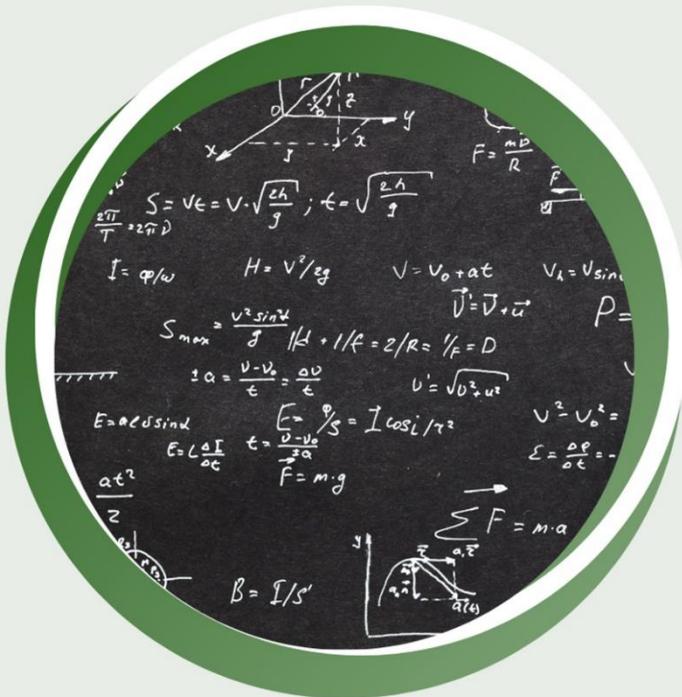


Editor : Suci Haryanti

KINEMATIKA PARTIKEL



Sudirman
 Ni Luh Putu Mery Marlinda
 Wirda
 Bergita Gela M Saka
 Wilson Jefriyanto
 Febri Rismaningsih
 Iman Noor
 Anisa Budi Putranti
 Muh. Said L
 Sitti Nurrahmi
 Rochmat Hidayat
 Jusman
 Jan Setiawan

BUNGA RAMPAI

KINEMATIKA PARTIKEL

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).

KINEMATIKA PARTIKEL

Sudirman
Ni Luh Putu Mery Marlinda
Wirda
Bergita Gela M Saka
Wilson Jefriyanto
Febri Rismaningsih
Iman Noor
Anisa Budi Putranti
Muh. Said L
Sitti Nurrahmi
Rochmat Hidayat
Jusman
Jan Setiawan

Penerbit



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

Anggota IKAPI
No. 370/JBA/2020

KINEMATIKA PARTIKEL

Sudirman
Ni Luh Putu Mery Marlinda
Wirda
Bergita Gela M Saka
Wilson Jefriyanto
Febri Rismaningsih
Iman Noor
Anisa Budi Putranti
Muh. Said L
Sitti Nurrahmi
Rochmat Hidayat
Jusman
Jan Setiawan

Editor :
Suci Haryanti

Tata Letak :
Mega Restiana Zendrato

Desain Cover :
Qonita Azizah

Ukuran :
A5 Unesco: 15,5 x 23 cm

Halaman :
iv , 190

ISBN :
978-623-195-131-1

Terbit Pada :
Maret 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: Kinematika Partikel.

Sistematika buku ini dengan judul “Kinematika Partikel” terdiri atas 13 bab yang dijelaskan secara rinci dalam pembahasan mengenai konsep dan strategi dan analisis diantaranya: Konsep Kinematika, Jarak dan Perpindahan, Kelajuan dan Percepatan, Kinematika Rotasi, GLB, GLBB, Gerak Jatuh Bebas, Gerak Bidang Datar, Gerak Melengkung, Gerak Melingkar Beraturan, Gerak Melingkar Berubah Beraturan dan Gerak Relatif.

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, Februari 2023

Editor

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
1 KONSEP KINEMATIKA.....	1
Pendahuluan	1
Sejarah Perkembangan Mekanika	2
Konsep Dasar Kinematika.....	11
Jenis Kinematika	12
Latihan	14
2 JARAK DAN PERPINDAHAN	23
Besaran-besaran Gerak	23
Definisi Posisi	24
Definisi Jarak dan Perpindahan.....	26
Persoalan Tentang Jarak dan Perpindahan	32
Mengukur Perpindahan dengan <i>Google Maps</i>	34
3 KELAJUAN DAN KECEPATAN	37
Kelajuan	37
Kecepatan.....	38
Kecepatan Rata-rata	39
Kecepatan Sesaat.....	42
Uji Kemampuan	44
4 PERCEPATAN.....	49
Percepatan Rata-rata	50
Percepatan Sesaat	52
5 KINEMATIKA ROTASI.....	63
Pendahuluan	63
Perpindahan Sudut	64

	Kecepatan Sudut	66
	Menentukan Posisi Sudut dari Fungsi Kecepatan Sudut.....	69
	Percepatan Sudut.....	69
	Analogi Gerak Translasi dan Gerak Rotasi.....	71
6	GERAK LURUS BERATURAN	73
	Besaran Gerak Lurus Beraturan.....	73
	Eksperimen untuk Menyelidiki Gerak Lurus Beraturan	74
	Grafik Gerak Lurus Beraturan	76
	Contoh dan Solusi	79
	Latihan	83
7	GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN	87
	Pengertian Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB).....	87
	Penurunan Rumus Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)..	88
	Grafik Percepatan GLBB Terhadap Waktu	90
	Grafik Kecepatan GLBB Terhadap Waktu (Percepatan +).....	91
	Grafik Kecepatan GLBB Terhadap Waktu (Percepatan +).....	94
	Contoh Soal dan Pembahasan	96
8	GERAK JATUH BEBAS	101
	Benda Jatuh Bebas	101
	Persamaan Gerak untuk Benda Jatuh Bebas	102
	Contoh Soal dan Pembahasan	103
9	GERAK PADA DATAR	113
	Definisi Gerak Pada Bidang Datar	113
	Gerak Lurus Arah Horizontal.....	114
	Gerak Lurus Arah Vertikal Pengaruh Gravitasi Bumi.....	116
	Gerak Parabola (Gerak Peluru)	118
	Gerak Melingkar	122

	Analisis Gaya Normal Benda Saat Melakukan Gerak Melingkar	126
10	GERAK MELENGKUNG.....	133
	Gerak Peluru	133
	Gerak Melingkar	139
	Kecepatan Sudut	140
	Kecepatan Linear	141
	Percepatan Sudut.....	142
11	GERAK MELINGKAR BERATURAN.....	147
	Kinematika – Gerak Melingkar Beraturan	147
	Periode dan Frekuensi	148
	Kelajuan Sudut dan Kelajuan Tangensial	149
	Percepatan Sentripetal.....	150
	Hubungan Roda-roda	151
	Gaya dalam Gerak Melingkar Beraturan	155
	Gerak Melingkar pada Tikungan	157
	Latihan	159
12	GERAK MELINGKAR BERUBAH BERATURAN.....	163
	Kecepatan Tangensial dan Percepatan Tangensial.....	167
	Aplikasi Gerak Melingkar.....	172
13	GERAK RELATIF	177
	Gerak Relatif dalam Satu Dimensi.....	177
	Gerak Relatif dalam Dua Dimensi	180
	Latihan	186

KONSEP KINEMATIKA

Sudirman
UIN Alauddin Makassar

Pendahuluan

Mekanika merupakan cabang ilmu fisika tertua yang berhubungan dengan materi (benda), yaitu ilmu yang mempelajari gerak benda, baik benda yang diam (statika) maupun benda yang bergerak (kinematika dan dinamika). Kinematika merupakan ilmu fisika yang mempelajari gerak suatu benda tanpa memperhatikan penyebab gerak benda tersebut, sedangkan dinamika merupakan ilmu fisika yang mempelajari gerak suatu benda dengan memperhatikan atau memperhitungkan penyebab gerak benda tersebut (Halliday et al., 2010).

Masalah mekanika merupakan hal yang cukup penting dalam perkembangan ilmu fisika untuk kita pelajari karena masalah mekanika sangat erat kaitannya dengan peristiwa yang terjadi dalam kehidupan kita sehari-hari. Sebagaimana kita ketahui bahwa fisika merupakan ilmu yang mempelajari gejala alam yang dapat diamati dan diukur, dan kasus mekanika merupakan salah satu gejala alam yang dapat diamati dan diukur (Gollub, 2003).

Dalam perkembangannya, mekanika dibagi menjadi dua yaitu mekanika klasik dan mekanika kuantum. Mekanika klasik ditekankan pada benda-benda yang bergerak dengan kecepatan jauh dibawah kecepatan cahaya, sedangkan mekanika kuantum ditekankan pada benda-benda yang bergerak mendekati kecepatan cahaya. Berdasarkan alasan di atas maka kita perlu mengetahui sejarah

perkembangan mekanika tiap periodisasi sejarah fisika (Saroja & Sakti, 2017)

Sejarah Perkembangan Mekanika

Perkembangan mekanika klasik didasarkan pada perkembangan sejarah fisika, yaitu:

1. Periode I (Pra Sains ... sampai dengan 1550 M) 1) Aristoteles (384-332 SM)

Aristoteles dilahirkan di kota Stagira, Macedonia, 384 SM. Ayahnya seorang ahli fisika kenamaan. Pada umur tujuh belas tahun Aristoteles pergi ke Athena belajar di Akademi Plato. Dia menetap di sana selama dua puluh tahun hingga tak lama Plato meninggal dunia. Dari ayahnya, Aristoteles mungkin memperoleh dorongan minat di bidang biologi dan "pengetahuan praktis". Aristoteles membedakan dua jenis gerak yaitu gerak alamiah (pure motion) dan gerak paksa (violent motion). Menurutnya tiap unsur memiliki "tempat alamiah" di alam semesta ini seperti di pusat bumi yang dikelilingi oleh air udara dan api. Dengan cara serupa, tiap unsur memiliki suatu gerak alamiah untuk bergerak kearah tempat alamiahnya jika ia tidak ada di sana. Umumnya, bumi dan air memiliki sifat berat, yaitu cenderung bergerak ke bawah, sementara udara dan api memiliki sifat levitasi, yaitu cenderung bergerak ke atas. Gerak alamiah ether adalah melingkar, dan ether selalu dalam tempat alamiahnya.

Teori Aristoteles bahwa gerak paksa membutuhkan suatu gaya yang bekerja secara kontinyu ternyata bisa disangkal dengan memandang gerak proyektil.

Aristoteles mencontohkan pada sebuah anak panah yang ditembakkan dari sebuah busur akan tetap bergerak untuk beberapa jarak meskipun jelas-jelas tidak selamanya didorong. busur entah bagaimana memberi suatu "daya gerak" kepada udara, yang kemudian mempertahankan anak panah tetap bergerak. Penjelasan ini sangat tidak meyakinkan, dan masalah gerak peluru

terus berlanjut hingga membuat kesal para Aristotelian selama berabad-abad (Utami et al., 2022).

a. Archimedes (287-212 SM)

Archimedes ilmuwan Yunani abad ke-3 SM. Archimedes adalah seorang arsitokrat. Archimedes adalah anak astronom Pheidias yang lahir di Syracuse, koloni Yunani yang sekarang dikenal dengan nama Sisilia. Membicarakan Archimedes tidaklah lengkap tanpa kisah insiden penemuannya saat dia mandi. Saat itu dia menemukan bahwa hilangnya berat tubuh sama dengan berat air yang dipindahkan. Cabang lain mekanika adalah statika. Ia merupakan studi benda-benda diam karena kombinasi berbagai gaya. Perintis bidang ini adalah Archimedes.” Archimedes adalah orang yang mendasarkan penemuannya dengan eksperimen. Sehingga, ia dijuluki Bapak IPA Eksperimental (Salim & Taib, 2018).

b. Eratoshenes (273 – 192 SM)

Eratoshenes melakukan penghitungan diameter bumi pada tahun 230 SM. Dia menyatakan bahwa kota Syene di Mesir terletak di equator, dimana matahari bersinar vertikal tepat di atas sumur pada hari pertama musim panas. Eratoshenes mengamati fenomena ini tidak dari rumahnya, dia menyimpulkan bahwa matahari tidak akan pernah mencapai zenith di atas rumahnya di Alexandria yang berjarak 7° dari Syene. Jarak Alexandria dan Syene adalah

$\frac{7}{360}$ atau $\frac{1}{50}$ dari lingkaran bumi yang dianggap lingkaran penuh adalah 360° . Jarak antara Syene sampai Alexandria \pm 5000 stade. Dengan dasar itu dibut prakiraan bahwa diameter bumi berkisar: $50 \times 5000 \text{ stade} = 25.000 \text{ stade} = 42.000 \text{ Km}$. Pengukuran tentang diameter bumi diketahui adalah 40.000 km. Ternyata, astronomer jaman kuno juga tidak kalah cerdasnya, dengan deviasi kurang dari 5% (Aini & Alam, 2020).

2. Periode II (Awal Sains 1550-1800 M) 1) Galileo (1564 M - 1642 M)

Pada Aristoteles mengajarkan, benda yang lebih berat jatuh lebih cepat ketimbang benda yang lebih ringan, dan bergenerasi-generasi kaum cerdik pandai menelan pendapat filosof Yunani yang besar pengaruh ini. Tetapi, Galileo memutuskan mencoba dulu benar-tidaknya, dan lewat serentetan eksperimen dia berkesimpulan bahwa Aristoteles keliru. Yang benar adalah, baik benda berat maupun ringan jatuh pada kecepatan yang sama kecuali sampai batas mereka berkurang kecepatannya akibat pergeseran udara. Galileo melakukan eksperimen ini di menara Pisa (Kebetulan, kebiasaan Galileo melakukan percobaan melempar benda dari menara Pisa tampaknya tanpa sadar). Pada satu sisi benda ringan akan menghambat benda berat dan benda berat akan mempercepat benda ringan, dan karena itu kombinasi tersebut akan bergerak pada suatu laju pertengahan. Di lain pihak benda-benda yang dipadu bahkan akan membentuk benda yang lebih berat, yang karena itu harus bergerak lebih cepat dari pada yang pertama atau salah satunya.

Mengetahui hal ini, Galileo mengambil langkah-langkah lebih lanjut. Dengan hati-hati dia mengukur jarak jatuhnya benda pada saat yang ditentukan dan mendapat bukti bahwa jarak yang dilalui oleh benda yang jatuh adalah berbanding seimbang dengan jumlah detik kwadrat jatuhnya benda. Penemuan ini (yang berarti penyeragaman percepatan) memiliki arti penting tersendiri. Bahkan lebih penting lagi Galileo berkemampuan menghimpun hasil penemuannya dengan formula matematik.

Sumbangan besar Galileo lainnya ialah penemuannya mengenai hukum kelembaman (inersia). Sebelumnya, orang percaya bahwa benda bergerak dengan sendirinya cenderung menjadi makin pelan dan sepenuhnya berhenti kalau saja tidak ada tenaga yang menambah kekuatan agar terus bergerak. Tetapi percobaan-percobaan Galileo membuktikan bahwa anggapan itu keliru. Bilamana kekuatan melambat seperti misalnya pergeseran, dapat dihilangkan, benda bergerak cenderung tetap bergerak tanpa batas.

Analisis Galileo mencapai resolusi akhir dari masalah gerak peluru. Dia juga memperlihatkan bagaimana komponen-komponen horisontal dan vertikal dari gerak peluru bergabung menghasilkan lintasan parabolik. Galileo menganggap bahwa sebuah benda yang menggelinding ke bawah pada suatu bidang miring adalah dipercepat seragam yaitu, kecepatannya bertambah dengan besar yang sama dalam tiap interval waktu yang kecil. Dia kemudian menunjukkan bahwa asumsi ini dapat diuji dengan mengukur jarak yang dilalui, dari pada mencoba mengukur kecepatan secara langsung (Cassidy et al., 2002).

a. Descartes (1596 M – 1661 M)

Rene Descartes lahir Di desa La Haye tahun 1596, filosof, ilmuwan, matematikus Perancis yang tersohor abad 17. Waktu mudanya dia sekolah Yesuit, College La Fleche. Hukum Gerak Descartes terdiri atas dua bagian, dan memprediksi hasil dari benturan antar dua massa:

- 1) bila dua benda memiliki massa dan kecepatan yang sama sebelum terjadinya benturan, maka keduanya akan terpantul karena tumbukkan, dan akan mendapatkan kecepatan yang sama dengan sebelumnya.
- 2) bila dua benda memiliki massa yang sama, maka karena tumbukkan tersebut, benda yang memiliki massa yang lebih kecil akan terpantul dan menghasilkan kecepatan yang sama dengan yang memiliki massa yang lebih besar. Sementara, kecepatan dari benda yang bermassa lebih besar tidak akan berubah.

Descartes telah memunculkan hukum ini berdasarkan pada perhitungan simetris dan suatu gagasan bahwa sesuatu harus ditinjau dari proses tumbukkan. Sayangnya, gagasan Descartes memiliki kekurangan yang sama dengan gagasan Aristoteles yaitu masalah diskontinuitas. Descartes menerima prinsip Galileo bahwa benda-benda cenderung untuk bergerak dalam garis lurus, dia beranggapan bahwa tidak pernah ada sembarang ruang kosong ke dalam mana sebuah

benda dapat bergerak. maka konsekuensinya adalah satu-satunya gerak yang mungkin adalah rotasi dari suatu kumpulan partikel-partikel.

Descartes mendefinisikan momentum sebagai perkalian massa dan kecepatan, mv . Ini tidak sepenuhnya benar kecuali “kecepatan” diperlakukan sebagai sebuah vektor yaitu suatu besaran yang memiliki arah tertentu di dalam ruang sehingga kecepatan-kecepatan yang sama dalam arah bellawanan akan saling menghilangkan (Aini & Alam, 2020).

b. Evangelista Torricelli (1608 M – 1647 M)

Fisikawan Italia kelahiran Faenza dan belajar di Sapienza College Roma. Ia menjadi sekretaris Galileo selama 3 bulan sampai Galileo wafat pada tahun 1641. Tahun 1642 ia menjadi profesor matematika di Florence. Pada tahun 1643 ia menetapkan tentang tekanan atmosfer dan menemukan alat untuk mengukurnya, yaitu barometer.

Pada tahun 1643, Torricelli membuat eksperimen sederhana, yang dinamakan Torricelli Experiment, yaitu ia menggunakan sebuah tabung kaca kuat dengan panjang kira-kira 1 m dan salah satu ujungnya tertutup. Dengan menggunakan sarung menghadap ke atas. Dengan menggunakan corong ia menuangkan raksa dari botol ke dalam tabung sampai penuh. Kemudian ia menutup ujung terbuka tabung dengan jempolnya, dan segera membalikinya. Dengan cepat ia melepaskan jempolnya dari ujung tabung dan menaruh tabung vertikal dalam sebuah bejana berisi raksa. Ia mengamati permukaan raksa dalam tabung dan berhenti ketika tinggi kolom raksa dalam tabung 76 cm di atas permukaan raksa dalam bejana. Ruang vakum terperangkap di atas kolom raksa.

c. Otto von Guericke (1602 M – 1686 M)

Otto von Guericke (30 November 1602- 21 Mei 1686) adalah seorang ilmuwan Jerman, pencipta, dan politikus. Prestasi

ilmiah utamanya menjadi penetapan dari ilmu fisika ruang hampa. Pada 1650 Guericke menemukan pompa udara. Guericke menerapkan barometer ke ramalan cuaca untuk meteorologi. Kemudiannya bidang kajiannya dipusatkan pada listrik, tetapi sangat sedikit hasilnya. Ia menemukan generator elektrostatik yang pertama, “Elektrisiermaschine”.

d. Blaise Pascal (1623 M -1662 M)

Blaise Pascal (19 Juni 1623- 19 Agustus 1662) adalah ilmuwan Perancis Ahli matematik, ahli ilmu fisika, dan ahli filsafat religius. Dalam bidang fisika, khususnya mekanika, dia melakukan percobaan dengan cara mengukur beda tinggi barometer di dasar dan di puncak gunung. Dari keterangkanketerangannya itu nantinya dia mengemukakan prinsip hidrostatik yang kita kenal dengan Hukum Pascal, yaitu “Jika suatu zat cair dikenakan tekanan, maka tekanan itu akan merambat ke segala arah sama besar dengan tidak bertambah atau berkurang kekuatannya”.

e. Isaac Newton (1642 M – 1727 M)

Isaac Newton (1642-1727), lahir di Woolstrophe, Inggris. Dia lahir di tahun kematian Galileo. Penemuan-penemuan Newton yang terpenting di bidang mekanika adalah pengetahuan sekitar Bergeraknya sesuatu benda didasarkan pada tiga hukum fundamental. Hukum pertamanya adalah hukum inersia Galileo, Galileo merupakan penemu pertama hukum yang melukiskan gerak sesuatu obyek apabila tidak dipengaruhi oleh kekuatan luar.

Tentu saja pada dasarnya semua obyek dipengaruhi oleh kekuatan luar dan persoalan yang paling penting dalam ihwal mekanik adalah bagaimana obyek bergerak dalam keadaan itu. Masalah ini dipecahkan oleh Newton dalam hukum geraknya yang kedua dan termasyhur dan dapat dianggap sebagai hukum fisika klasik yang paling utama. Hukum kedua (secara matematik dijabarkan dengan persamaan $F = m \cdot a$ atau

$a = F/m$) menetapkan bahwa percepatan obyek adalah sama dengan gaya netto dibagi massa benda.

Hukum kedua Newton memiliki bentuk sama seperti hukum dinamika Aristoteles, $v = kF/R$, dengan dua perbedaan penting. Yang satu adalah bahwa gaya menghasilkan percepatan dari pada kecepatan, sehingga dalam ketidakhadiran gaya, kecepatan tetap konstan (hukum pertama). Perbedaan yang lain adalah bahwa hambatan terhadap gerak adalah disebabkan oleh massa benda itu sendiri, terhadap medium di mana ia bergerak. hukum ketiganya yang masyhur tentang gerak (menegaskan bahwa pada tiap aksi, misalnya kekuatan fisik, terdapat reaksi yang sama dengan yang bertentangan) serta yang paling termasyhur penemuannya tentang kaidah ilmiah hukum gaya berat universal.

Newton juga membedakan antara massa dan berat. Massa adalah sifat intrinsik suatu benda yang mengukur resistansinya terhadap percepatan, sedangkan berat adalah sesungguhnya suatu gaya, yaitu gaya berat yang bekerja pada sebuah benda. Jadi berat W sebuah benda adalah $W = mag$, di mana ag adalah percepatan karena gravitasi. Keempat perangkat hukum ini, jika digabungkan, akan membentuk suatu kesatuan sistem yang berlaku buat seluruh makro sistem mekanika, mulai dari ayunan pendulum hingga gerak planet-planet dalam orbitnya mengelilingi matahari.

Diantara banyak prestasi Newton, ada satu yang merupakan penemuan terbesar ialah 'Hukum Gravitasi'. Pada penemuan ini, Newton menggunakan dengan baik penemuan penting sebelumnya tentang pergerakan angkasa yang dibuat oleh Kepler dan yang lainnya. Newton menyadari hukum semacam ini pada pertengahan 1660. Pada masa kreatif ini, ia menulis hampir satu abad kemudian bahwa, "Saya menarik kesimpulan bahwa kekuatan yang menjaga planet-planet pada orbitnya pasti berbanding terbalik sama dengan kuadrat dari jarak mereka dengan pusat dimana mereka berevolusi". Diungkapkan sebagai sebuah persamaan di mana F gaya

gravitasi diantara dua benda bermassa m_1 dan m_2 , r adalah jarak antara pusat-pusatnya, dan G adalah tetapan gravitasi . Gerak sebuah planet mengelilingi matahari adalah suatu kombinasi gerak garis lurus yang ia harus miliki jika tak ada gaya yang bekerja kepadanya dan percepatannya karena gaya gravitasi matahari.

3. Periode III (Fisika Klasik 1800 M -1890 (1900) M)

a. Daniel Bernoulli (1700 M – 1780 M)

Daniel Bernoulli (8 Pebruari 1700 – 17 Maret 1782) adalah ilmuwan swiss Ahli matematik. Keahlian matematikanya untuk diaplikasikan ke mekanika, terutama ilmu mekanika zat cair (fluida) dan gas. Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama (Utami et al., 2022).

b. Leonhard Euler (1707 M – 1783 M)

Leonard Euler lahir tahun 1707 di Basel, Swiss. Dia diterima masuk Universitas Basel tahun 1720 tatkala umurnya baru mencapai tiga belas tahun. Euler khusus ahli mendemonstrasikan bagaimana hukum-hukum umum mekanika, yang telah dirumuskan di abad sebelumnya oleh Isaac Newton, dapat digunakan dalam jenis situasi fisika tertentu yang terjadi berulang kali. Misalnya, dengan menggunakan hukum Newton dalam hal gerak cairan, Euler sanggup mengembangkan persamaan hidrodinamika. Juga, melalui analisa yang cermat tentang kemungkinan gerak dari barang yang kekar, dan dengan penggunaan prinsip-prinsip Newton. Dan Euler berkemampuan mengembangkan sejumlah pendapat yang sepenuhnya menentukan gerak dari

barang kekar. Dalam praktek, tentu saja, obyek benda tidak selamanya mesti kekar. Karena itu, Euler juga membuat sumbangan penting tentang teori elastisitas yang menjabarkan bagaimana benda padat dapat berubah bentuk lewat penggunaan tenaga luar.

c. Hamilton

Jika ditinjau gerak partikel yang terkendala pada suatu permukaan bidang, maka diperlukan adanya gaya tertentu yakni gaya konstrain yang berperan mempertahankan kontak antara partikel dengan permukaan bidang. Namun tak selamanya gaya konstrain yang beraksi terhadap partikel dapat diketahui. Pendekatan Newtonian memerlukan informasi gaya total yang beraksi pada partikel. Gaya total ini merupakan keseluruhan gaya yang beraksi pada partikel, termasuk juga gaya konstrain. Oleh karena itu, jika dalam kondisi khusus terdapat gaya yang tak dapat diketahui, maka pendekatan Newtonian tak berlaku. Sehingga diperlukan pendekatan baru dengan meninjau kuantitas fisis lain yang merupakan karakteristik partikel, misal energi totalnya. Pendekatan ini dilakukan dengan menggunakan prinsip Hamilton, dimana persamaan Lagrange yakni persamaan umum dinamika partikel dapat diturunkan dari prinsip tersebut.

d. Joseph-Louis Lagrange (1736 M – 1813 M)

Persamaan gerak partikel yang dinyatakan oleh persamaan Lagrange dapat diperoleh dengan meninjau energi kinetik dan energi potensial partikel tanpa perlu meninjau gaya yang beraksi pada partikel. Energi kinetik partikel dalam koordinat kartesian adalah fungsi dari kecepatan, energi potensial partikel yang bergerak dalam medan gaya konservatif adalah fungsi dari posisi.

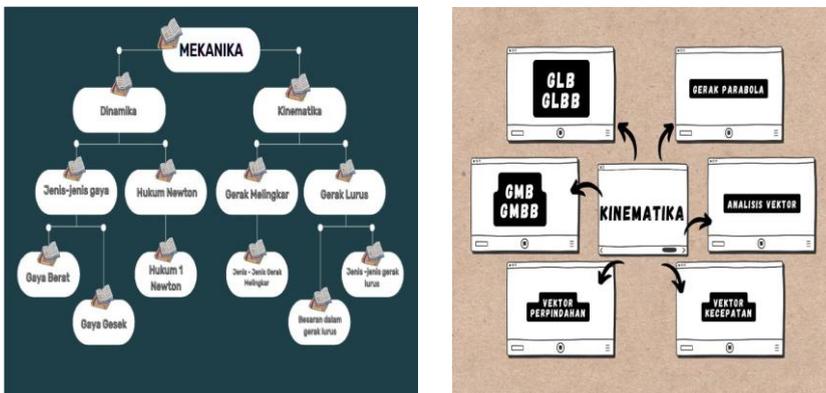
Persamaan Lagrange merupakan persamaan gerak partikel sebagai fungsi dari koordinat umum, kecepatan umum, dan

mungkin waktu. Waktu berpengaruh dalam persamaan Lagrange dikarenakan persamaan transformasi yang menghubungkan koordinat kartesian dan koordinat umum mengandung fungsi waktu. Pada dasarnya, persamaan Lagrange ekuivalen dengan persamaan gerak Newton, jika koordinat yang digunakan adalah koordinat kartesian.

Konsep Dasar Kinematika

Kinematika adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari gerak sebuah titik atau benda tanpa memperhitungkan penyebab benda tersebut bergerak. Benda dikatakan bergerak jika mengalami perubahan posisi. Besar perubahan posisi dinyatakan sebagai perpindahan. Perpindahan suatu benda yang terjadi setiap satuan waktu disebut dengan kecepatan. Jika kecepatan benda berubah maka disebut besaran percepatan. Percepatan adalah perubahan kecepatan setiap detik(Sumardi, n.d.).

Posisi, Perpindahan, Kecepatan dan Percepatan merupakan besaran yang digunakan dalam cabang kinematika. Besaran-besaran tersebut menyatakan nilai dari besaran-besaran yang harus disertai dengan arahnya. Selain itu, dalam kinematika kita juga mempelajari besaran vektor yang berkaitan langsung dengan gerak, yaitu jarak, kelajuan dan perlajuan. Jarak menyatakan panjang lintasan yang ditempuh suatu benda, kelajuan menyatakan besar jarak dalam setiap satuan waktu, sedangkan perlajuan adalah perubahan kelajuan setiap satuan waktu (Gollub, 2003).



Gambar 1. Peta Konsep Mekanika dan Kinematika Gerak (Sumber: Sudirman/Medsan)

Jenis Kinematika

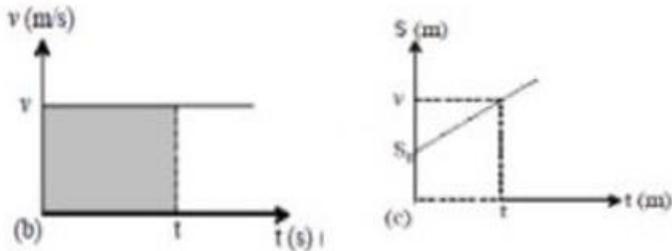
Kinematika dibagi menjadi dua jenis, yaitu kinematika gerak dan kinematika partikel, berikut penjelasannya.

1. Kinematika Gerak

Kinematika gerak adalah kinematika yang mempelajari tentang gerak suatu benda yang dilihat secara macro atau besar. Kinematika gerak dibagi menjadi dua jenis, yaitu gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB).

a. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Gerak lurus beraturan adalah gerak suatu benda yang memiliki lintasan lurus. GLB memiliki ciri-ciri dimana percepatan yang dialami bernilai 0 karena pada gerak lurus benda tersebut tidak mengalami perubahan kecepatan. Lebih jelasnya, perhatikan ilustrasi dibawah ini:



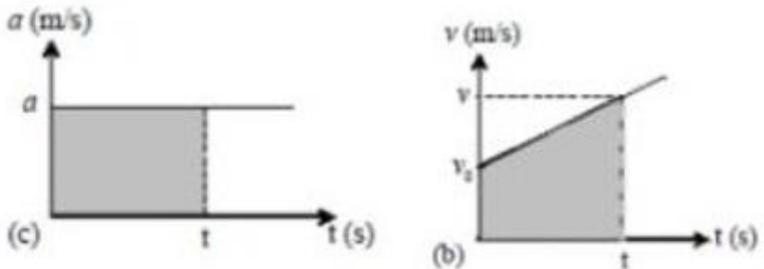
Pada gambar sebelah kiri, kita dapat melihat hubungan kecepatan terhadap waktu. Pada gambar tersebut, nilai kecepatan pada setiap waktu tidak mengalami perubahan. Sedangkan pada gambar sebelah kanan, terlihat hubungan antara posisi dengan waktu yang terlihat grafiknya lurus keatas.

b. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Contoh sederhana dari GLBB yaitu ketika kita memegang suatu benda dan tanpa sengaja kita menjatuhkan benda tersebut dari genggaman. Dari contoh tersebut didapatkan

jika, GLBB adalah gerak dimana benda mengalami percepatan yang tetap.

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) dan gerak jatuh bebas (GJB) merupakan suatu gerak yang sama, bedanya hanya ada pada arah geraknya. GLBB memiliki arah horizontal sedangkan GJB memiliki arah gerak vertikal. Dibawah ini merupakan ilustrasi dan perbedaan dari GLBB dan GJB.



Pada gambar sebelah kiri, terlihat jika percepatan benda pada setiap waktu bernilai konstan atau tetap. Sedangkan pada gambar kanan, terlihat grafik hubungan kecepatan dan waktu dimana nilai kecepatan setiap waktu mengalami kenaikan yang terlihat dari grafik kecepatan yang menukik ke atas.

2. Kinematika Partikel

Kinematika partikel adalah ilmu yang mempelajari gerak benda dalam kesatuan utuh partikel. Disebut sebagai partikel, karena benda dalam satu kesatuan yang utuh dan tidak mengalami putaran terhadap poros benda tersebut.

3. Rumus Kinematika

Dibawah ini merupakan beberapa rumus matematis yang dapat digunakan pada kinematika.

4. Rumus Kecepatan

$$V = x/t$$

5. Rumus Percepatan

$$a = \Delta V/\Delta t = (V_2 - V_1)/(t_2 - t_1)$$

6. Kinematika Gerak

$$\text{Kinematika posisi } x = v_0t \pm \frac{1}{2} at^2$$

7. Kinematika kecepatan

$$v_t = v_0 \pm at \quad v_t^2 = v_0^2 \pm 2ax$$

Keterangan:

V = kecepatan (m/s)

x = posisi (m)

t = waktu (s)

a = percepatan (m/s²)

v₂ = kecepatan sesudah (m/s)

v₁ = kecepatan sebelum (m/s)

t₂ = waktu sesudah (s)

t₁ = waktu sebelum (s)

v₀ = kecepatan awal (m/s)

v_t = kecepatan ahir pada waktu tertentu (m/s)

Latihan

Soal 1. Sebuah partikel bergerak dengan persamaan posisi terhadap waktu :

$$r(t) = 3t^2 - 2t + 1$$

dengan t dalam sekon dan r dalam meter.

Tentukan:

a. Kecepatan partikel saat t = 2 sekon

b. Kecepatan rata-rata partikel antara t = 0 sekon hingga t = 2 sekon

Pembahasan

a. Kecepatan partikel saat t = 2 sekon (kecepatan sesaat)

$$r = \frac{dr}{dt}$$

$$r = \frac{d(3t^2 - 2t + 1)}{dt}$$

$$r = 6t - 2$$

$$r = 6 \times 2 - 2$$

$$r = 10 \text{ ms}^{-1}$$

b. Kecepatan rata-rata partikel saat $t = 0$ sekon hingga $t = 2$ sekon

$$t = 2s \rightarrow r = 3(2)^2 - 2(2) + 1 = 9 \text{ m}$$

$$t = 0s \rightarrow r = 3(0)^2 - 2(0) + 1 = 1 \text{ m}$$

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{9 - 1}{2 - 0} = 4 \text{ m/s}$$

(Widianto, 2021)

Soal No. 2. Sebuah benda bergerak lurus dengan persamaan kecepatan :

$$r = \left(4i + \left(2t + 2\frac{1}{3}\right)j\right) \text{ms}^{-1}$$

Jika posisi benda mula-mula di pusat koordinat, tentukan perpindahan benda selama

3 sekon

Pembahasan

Jika diketahui persamaan kecepatan, untuk mencari persamaan posisi integralkan persamaan kecepatan tersebut terlebih dahulu, di pusat koordinat artinya posisi awalnya diisi angka nol ($x_0 = 0$ meter).

$$x = x_0 + \int_0^3 v dt = 0 + \int_0^3 \left[4i + \left(2t + 2\frac{1}{3}\right)j\right] dt$$

$$x = 0 + \left[(4t)i + \left(t^2 + \left(\frac{7}{3}t\right)j\right)\right]_0^3$$

$$x = \left[(4t)i + \left(t^2 + \left(\frac{7}{3}t\right)j\right)\right]_0^3$$

Masukkan waktu yang diminta

$$x = \left[(4t)i + \left(t^2 + \left(\frac{7}{3}t\right)j\right)\right]_0^3$$

$$x = \left[(4 \times 3)i + \left(3^2 + \left(\frac{7}{3} \times 3\right)j\right)\right] - \left[(4 \times 0)i + \left(0^2 + \left(\frac{7}{3} \times 0\right)j\right)\right]$$

$$x = 12i + (9 + 7)j - 0 = 12i + 16j$$

Masih dalam bentuk i dan j, cari besarnya (modulusnya) dan perpindahannya

$$x = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \text{ m}$$

$$\Delta x = x - x_0 = 20 - 0 = 20 \text{ m}$$

(Akrom, 2014)

Soal No. 4. Persamaan posisi sudut suatu benda yang bergerak melingkar dinyatakan sebagai berikut:

$$\theta = 2t^3 - t^2 + 10$$

Tentukan:

- Posisi awal
- Posisi saat $t=2$ sekon
- Kecepatan sudut rata-rata dari $t = 1$ sekon hingga $t = 2$ sekon
- Kecepatan sudut awal
- Kecepatan sudut saat $t = 1$ sekon
- Waktu saat partikel berhenti bergerak
- Percepatan sudut rata-rata antara $t = 1$ sekon hingga $t = 2$ sekon
- Percepatan sudut awal
- Percepatan sudut saat $t = 1$ sekon

(Halliday et al., 2010)

Pembahasan

a) Posisi awal adalah posisi saat $t = 0$ sekon, masukkan ke persamaan posisi

$$\theta = 2t^3 - t^2 + 10$$

$$\theta = 2(0)^3 - (0)^2 + 10 = 10 \text{ rad}$$

b) Posisi saat $t = 2$ sekon

$$\theta = 2t^3 - t^2 + 10$$

$$\theta = 2(2)^3 - (2)^2 + 10 = 22 \text{ rad}$$

c) Kecepatan sudut rata-rata dari $t = 1$ sekon hingga $t = 2$ sekon

$$\theta = 2t^3 - t^2 + 10$$

$$t_1 = 1s \rightarrow \theta_1 = 2(1^3) - (1^2) + 10 = 11 \text{ rad}$$

$$t_1 = 2s \rightarrow \theta_2 = 2(2^3) - (2^2) + 10 = 22 \text{ rad}$$

$$\omega_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{22 - 11}{2 - 1} = 11 \text{ rad/s}$$

d) Kecepatan sudut awal

Kecepatan sudut awal masukkan $t = 0$ sekon pada persamaan kecepatan sudut.

Karena belum diketahui turunkan persamaan posisi sudut untuk mendapatkan persamaan kecepatan sudut.

$$\theta = 2t^3 - t^2 + 10$$

$$\omega = 6t^2 - 2t$$

$$\omega = (0) - 2(0) = 0 \text{ rad/s}$$

e) Kecepatan sudut saat $t = 1$ sekon

$$\omega = 6t^2 - 2t$$

$$\omega = 6(1^2) - 2(1) = 4 \text{ rad/s}$$

f) Waktu saat partikel berhenti bergerak

Berhenti berarti kecepatan sudutnya NOL.

$$\omega = 6t^2 - 2t$$

$$0 = 6t^2 - 2t$$

$$0 = 3t^2 - t = t(3t - 1)$$

$$t = 0 \text{ sekon atau } t = \frac{1}{3} \text{ sekon}$$

g) Percepatan sudut rata-rata antara $t = 1$ sekon hingga $t = 2$ sekon

$$\omega = 6t^2 - 2t$$

$$t_1 = 1 \text{ sekon} \rightarrow \omega_1 = 6(1^2) - 2(1) = 4 \text{ rad/s}$$

$$t_2 = 2 \text{ sekon} \rightarrow \omega_2 = 6(2^2) - 2(2) = 20 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{20 - 4}{2 - 1} = 16 \text{ rad/s}^2$$

h) Percepatan sudut awal

Turunkan persamaan kecepatan sudut untuk mendapatkan persamaan percepatan sudut.

$$\omega = 6t^2 - 2t$$

$$\alpha = 12t - 2$$

$$t = 0 \text{ s} \rightarrow \alpha = 12(0) - 2 = -2 \text{ rad/s}^2$$

i) Percepatan sudut saat $t = 1$ sekon

$$\alpha = 12t - 2$$

$$t = 1 \text{ s} \rightarrow \alpha = 12(1) - 2 = 10 \text{ rad/s}^2$$

(Saroja & Sakti, 2017)

Soal No. 5. Sebuah partikel bergerak dari atas tanah dengan persamaan posisi $Y = (-3t^2 + 12t + 6)$ meter. Tentukan :

a) Posisi awal partikel

b) Posisi partikel saat $t = 1$ sekon

c) Kecepatan awal partikel

d) Percepatan partikel

e) Waktu yang diperlukan partikel untuk mencapai titik tertinggi

f) Lama partikel berada di udara

g) Tinggi maksimum yang bisa dicapai partikel

Pembahasan

a) Posisi awal partikel

$$y = -3t^2 + 12t + 6$$

$$t = 0 \text{ s} \rightarrow y = -3(0^2) + 12(0) + 6 = 6 \text{ m}$$

b) Posisi partikel saat $t = 1$ sekon

$$y = -3t^2 + 12t + 6$$

$$t = 1 \text{ s} \rightarrow y = -3(1^2) + 12(1) + 6 = 15 \text{ m}$$

c) Kecepatan awal partikel

$$y = -3t^2 + 12t + 6$$

$$v = -6t + 12$$

$$t = 0 \text{ s} \rightarrow v = -6(0) + 12 = 12 \text{ m/s}$$

d) Percepatan partikel. Turunkan persamaan kecepatan untuk mendapatkan persamaan percepatan:

$$v = -6t + 12$$

$$\alpha = -6 \text{ m/s}^2$$

e) Waktu yang diperlukan partikel untuk mencapai titik tertinggi

Saat mencapai titik tertinggi kecepatan partikel adalah NOL.

$$v = -6t + 12$$

$$0 = -6t + 12$$

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

f) Lama partikel berada di udara Partikel berada di udara selama dua kali waktu untuk mencapai titik tertinggi yaitu 4 sekon.

g) Tinggi maksimum yang bisa dicapai partikel Tinggi maksimum tercapai saat 2 sekon, masukkan ke persamaan posisi.

$$y = -3t^2 + 12t + 6$$

$$y = -3(2)^2 + 12(2) + 6 = 18m$$

Soal No. 6

Sebuah benda bergerak sesuai persamaan berikut

$$r = (-2t^2 + 5)i + \left(\frac{3}{2}t^2 - 10\right)j$$

r dalam meter dan t dalam sekon. Tentukan kecepatan benda untuk t = 2 sekon!

Soal No. 6

Sebuah benda bergerak sesuai persamaan berikut

$$r = (-2t^2 + 5)i + \left(\frac{3}{2}t^2 - 10\right)j$$

r dalam meter dan t dalam sekon. Tentukan kecepatan benda untuk t = 2 sekon!

Pembahasan

Turunkan persamaan posisinya (r) untuk mendapatkan persamaan v. Biarkan i dan j nya, setelah itu masukkan waktu yang diminta.

$$r = (-2t^2 + 5)i + \left(\frac{3}{2}t^2 - 10\right)j$$

$$v = (2 \times -2t)i + \left(2 \times \frac{3}{2}t\right)j$$

$$v = (-4t)i + (3t)j$$

$$v = (-4[2])i + (3 \times [2])j$$

$$v = -8i + 6j$$

$$v = \sqrt{-8^2 + 6^2}$$

$$v = \sqrt{100} = 10 \text{ m/s}$$

Soal No. 6. Sebuah partikel bermuatan listrik mula-mula bergerak lurus dengan kecepatan 100 m/s. Karena pengaruh gaya listrik, partikel mengalami percepatan yang dinyatakan dengan persamaan $a = (2 - 10t) \text{ m/s}^2$, t adalah waktu lamanya gaya listrik bekerja. Tentukan kecepatan partikel setelah gaya bekerja selama 4 sekon (Sumardi, n.d.).

Pembahasan

Data soal yang diambil:

Kecepatan awal partikelnya $v_0 = 100 \text{ m/s}$

Persamaan percepatannya $a = (2 - 10t) \text{ m/s}^2$

Waktu yang diminta $t = 4 \text{ sekon}$

Yang ditanya $v = \dots$

Menggunakan integral, karena dari a mau cari v . Setelah dapat integralnya, masukkan waktu yang sesuai:

$$v = v_0 + \int_0^4 a dt$$

$$v = 100 + \int_0^4 (2 - 10t) dt$$

$$v = 100 + (2t - 5t^2) \Big|_0^4$$

$$v = 100 + (2 \times 4 - 5 \times 4^2) - (2 \times 0 - 5 \times 0^2)$$

$$v = 100 + (8 - 80) - 0$$

$$v = 100 + (-72) = 28 \text{ m/s}$$

(Akrom, 2014)

Daftar Pustaka

- Aini, N., & Alam, M. P. I. P. (2020). *Sejarah Perkembangan Fisika (Kuantum) Dari Klasik Hingga Modern*.
- Akrom, M. (2014). *Supertuntas Bahas dan Kupas Fisika SMA*. PandaMedia.
- Cassidy, D. C., Holton, G. J., & Rutherford, F. J. (2002). *Understanding physics*. Springer.
- Gollub, J. P. (2003). *Continuum mechanics in physics education*.
- Halliday, D., RESNIC, R., & Walker, J. (2010). *Fisika Dasar*.
- Salim, A., & Taib, S. (2018). *Fisika Dasar 1*. Deepublish.
- Saroja, G., & Sakti, S. P. (2017). *Mekanika I*. Universitas Brawijaya Press.
- Sumardi, Y. (n.d.). Kinematika Partikel. *MODUL 1: KINEMATIKA PARTIKEL 1.1*.
- Utami, L. S., PFis, M., Sabaryati, J., PFis, M., & Zulkarnain, M. S. (2022). *SEJARAH FISIKA*. Ahlimedia Book.
- Widianto, T. A. (2021). *Menuju KNMIPA-PT Fisika Tingkat Nasional (Pembahasan Soal Tahap II): Mirra Buana Media*. Diandra Kreatif.

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. Selama menempuh Pendidikan magister, penulis juga pernah bekerja sebagai *teaching assistant* pada *Eureka Laboratory, School of Education, University College Cork, Ireland* Tahun 2016 hingga 2017. Penulis melanjutkan studi ke luar negeri dengan beasiswa LPDP (Lembaga Pengelola Dana Pendidikan) pada Tahun 2015 dan menyelesaikan studi *S-2 Program Master by Research* pada Tahun 2017. Penulis aktif menulis dan melakukan penelitian diantaranya, Buku "*Medical Physics Module for Transition Year Student in Ireland*" pada tahun 2017. Buku Belajar dan Pembelajaran pada Tahun 2020. Penulis juga aktif menulis *bookchapter* rumpun Matematika dan IPA. Mendapatkan hibah penelitian dengan judul "*Pengembangan modul fisika dasar berbasis integrasi Al-Quran*" pada tahun 2018-2019 dan pada tahun 2019-2020 dengan judul penelitian "*Pengembangan Asesmen Kinerja Praktikum terintegrasi nilai-nilai keislaman*". Saat ini terdaftar sebagai Mahasiswa Program Doktor dengan fokus kajian pengembangan instrumen penilaian praktikum berbasis karakter di Program Studi Ilmu Pendidikan, Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar.

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

JARAK DAN PERPINDAHAN

Ni Luh Putu Mery Marlinda
Institut Bisnis dan Teknologi Indonesia (INSTIKI)

Besaran-besaran Gerak

Gerak merupakan fenomena keseharian yang kita alami dan kita lihat dalam kehidupan sehari-hari. Gerak yang dimaksud tidak hanya aktivitas yang kita lakukan saja, namun termasuk benda-benda yang ada di sekitar kita, selama benda tersebut melakukan gerak. Gerak merupakan perubahan posisi (kedudukan) suatu benda terhadap sebuah acuan tertentu. Perubahan letak benda dilihat dengan membandingkan letak benda tersebut terhadap suatu titik yang dianggap tidak bergerak (titik acuan), sehingga gerak memiliki pengertian yang relatif atau nisbi. Studi mengenai gerak benda, konsep-konsep gaya, dan energi yang berhubungan, membentuk suatu bidang, yang disebut mekanika. Mekanika dibagi menjadi dua bagian, yaitu kinematika dan dinamika. Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerak benda tanpa meninjau gaya penyebabnya.

Pernahkah melihat bagaimana roket meluncur? Walaupun hanya melihat dari tayangan video atau ilustrasi. Peluncuran roket ataupun benda-benda yang terkendali sangat bergantung pada besaran gerak. Besaran gerak adalah besaran fisis yang mendeskripsikan gerak benda. Besaran-besaran tersebut di antaranya adalah posisi, perpindahan, jarak tempuh, kecepatan, laju, percepatan, gaya, momentum linier, momentum sudut, torka, dan sebagainya. Besaran gerak tersebut ada yang berupa besaran vektor dan ada yang berupa besaran skalar. (Halliday dkk, 2010) memaparkan tiga sifat umum gerak yaitu:

1. Gerak hanya berada sepanjang garis lurus.
2. Gerak yang disebabkan oleh gaya, dalam hal ini tarikan atau dorongan.
3. Objek yang bergerak dapat berupa partikel (misalnya elektron).

Sebuah benda dapat diperlakukan seperti partikel jika benda itu dianggap sebagai benda titik tanpa ukuran, sehingga efek rotasi dan vibrasi yang terjadi pada partikel tidak diperhitungkan. Walaupun benda itu berukuran cukup besar, misalnya mobil, tetapi ukuran mobil juga dapat diabaikan jika kita bandingkan dengan ukuran alam semesta. Pada bab ini kita hanya akan membatasi pembahasan pada besaran jarak dan perpindahan, namun untuk memperjelas jarak perlu juga dipahami definisi dari posisi atau kedudukan.

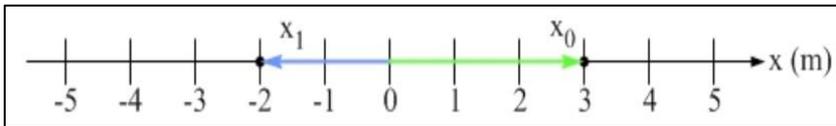
Definisi Posisi

Pada umumnya dalam penjelasan mengenai gerak menggunakan sumbu koordinat. Sumbu koordinat menentukan dimensi benda tersebut saat bergerak. Misalnya saat kereta api bergerak pada lintasan lurus, dapat dikatakan bahwa kereta api tersebut bergerak pada satu sumbu koordinat atau sering disebut gerak satu dimensi. Jika benda bergerak pada bidang datar maka kita memerlukan dua sumbu koordinat yang tidak harus dua sumbu tegak lurus. Sembarang dua sumbu yang tidak berimpit dapat kita gunakan sebagai sumbu koordinat untuk menjelaskan benda yang bergerak pada bidang datar. Namun, penggunaan sumbu yang tegak lurus akan mempermudah dalam menjelaskan gerak benda tersebut. Gerak pada bidang yang memerlukan dua sumbu koordinat untuk menjelaskannya dinamakan juga gerak dua dimensi. Gerak pemain bola, gerak benda di atas meja, gerak pembalap di sirkuit, gerak kapal di atas laut adalah contoh gerak dua dimensi.

Gerak benda yang umumnya adalah gerak dalam ruang, yang diperlukan tiga sumbu koordinat untuk menjelaskan gerak benda secara lengkap. Asal ada tiga sumbu yang tidak berimpit maka tiga sumbu koordinat tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan gerak benda secara umum. Gerak benda yang bebas dan memerlukan tiga sumbu

koordinat untuk menjelaskannya disebut gerak tiga dimensi. Pertama dalam gerak akan kita bahas posisi.

Saat kita berkomunikasi dengan seseorang melalui sambungan telepon, sering kali kita bertanya “sedang dimana?”, secara tidak langsung kita telah menanyakan dan memastikan posisi dari seseorang. Konsep posisi atau kedudukan ini merupakan hal penting yang dibahas dalam kinematika. Saat menggambarkan gerak suatu benda maka kita harus mengetahui posisi benda tersebut. Lokasi keberadaan suatu benda disebut posisi. Ada berbagai cara untuk menyatakan posisi suatu benda. Posisi adalah vektor karena memiliki besaran dan arah: jaraknya agak jauh dari titik nol (titik yang kita sebut titik asal) pada arah tertentu. Dengan gerak satu dimensi, kita dapat menentukan garis lurus di mana objek bergerak. Sebut saja ini sumbu x , dan mewakili lokasi yang berbeda pada sumbu x menggunakan variabel seperti \vec{x}_0 dan \vec{x}_1 seperti Gambar 2.1.

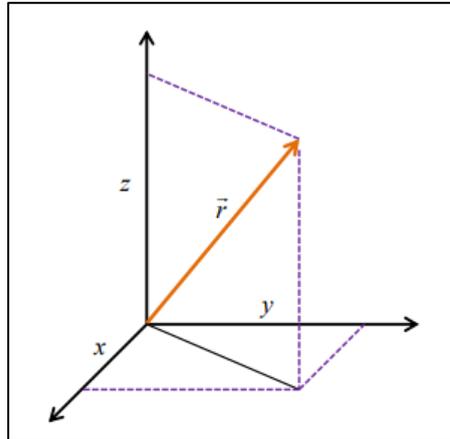


Gambar 2.1 Posisi dari $\vec{x}_0 = +3$ dan $\vec{x}_1 = -2$ dimana + dan - Menunjukkan Arah.

Jika kita gambarkan ke dalam masing-masing sumbu koordinat x , y , dan z maka digambarkan seperti Gambar 2.2, dengan posisi benda dituliskan pada persamaan 2.1.

$$\vec{r} = \hat{i}x + \hat{j}y + \hat{k}z \tag{2.1}$$

dengan \vec{r} adalah vektor yang pangkalnya di pusat koordinat dan ujungnya di posisi benda; x adalah komponen vektor \vec{r} dalam arah sumbu x ; y adalah komponen vektor \vec{r} dalam arah sumbu y ; z adalah komponen vektor \vec{r} dalam arah sumbu z ; \hat{i} adalah vektor satuan yang searah dengan sumbu x , \hat{j} adalah vektor satuan yang searah sumbu y , dan \hat{k} adalah vektor satuan yang searah sumbu z .



Gambar 2.2 Posisi Sebuah Benda dalam Tiga Sumbu Koordinat

Apa pentingnya memahami posisi? Hampir tidak ada teknologi canggih di dunia ini yang tidak menggunakan konsep posisi. Peluncuran roket, pesawat ruang angkasa, autopilot pesawat terbang, peluncuran peluru kendali, penentuan lokasi di permukaan bumi dengan peralatan yang bernama GPS, dan pergerakan robot semuanya melibatkan perhitungan posisi. Bahkan gerakan *cartridge printer* yang kita gunakan sehari-hari sehingga diperoleh cetakan yang sangat teliti juga melibatkan pengontrolan posisi. Dalam ruang kontrol navigasi pesawat, kapal laut, dan kereta api, yang diamati adalah posisi masing-masing mesin transportasi tersebut.

Definisi Jarak dan Perpindahan

Setelah memahami posisi selanjutnya kita pahami tentang jarak dan perpindahan yang sering dianggap sejenis atau sama maknanya. Secara golongan besaran, jarak jelas merupakan besaran skalar dan perpindahan adalah besaran vektor, jadi jarak dengan posisi juga tidaklah sama maknanya secara fisika.

Secara matematis, jarak adalah ukuran panjang ruas garis (terpendek atau tegak lurus) yang dapat ditarik dari titik pertama ke titik lain yang berbeda (Isrok'atun, 2016). Dalam pengukuran jarak terdapat berbagai cara, diantaranya:

1. Jarak antara dua titik berlainan.

Adalah ukuran panjang ruas garis terpendek yang dapat ditarik antara dua titik tersebut.

2. Jarak antara titik di luar garis tersebut.

Jarak antara suatu titik di luar garis yang diketahui dan garis tersebut adalah ukuran ruas garis tegak lurus dari titik ke garis tersebut. Jarak antara garis tersebut adalah nol.

3. Jarak antara dua garis berlainan, baik sejajar maupun bersilangan.

Jarak antara dua garis yang sejajar adalah ukuran ruas garis tegak lurus dari suatu titik pada garis pertama ke garis kedua.

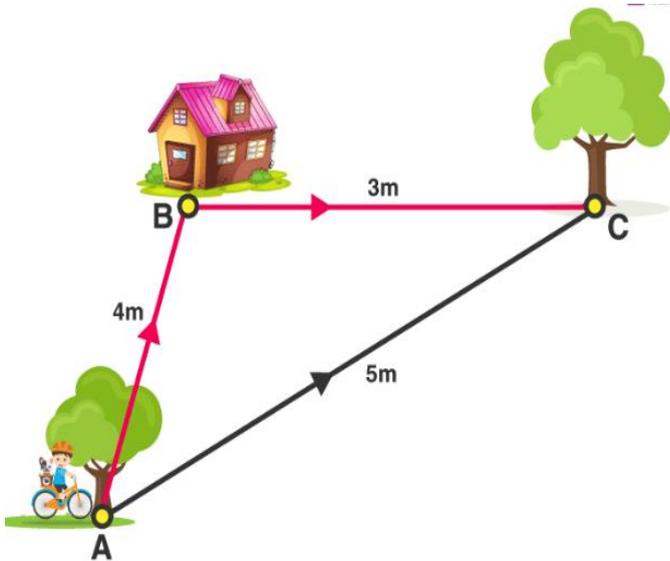
4. Jarak antara titik ke bidang.

Jarak antara titik dan bidang, dimana titik yang dimaksud terletak pada bidang tersebut adalah nol.

5. Jarak antara garis ke bidang, baik sejajar maupun bersilangan.

Jarak antara garis ke bidang adalah ukuran ruas garis yang dapat ditarik dari garis tersebut dan tegak lurus ke bidang.

Jarak adalah nilai yang menunjukkan seberapa jauh suatu benda berubah terhadap posisi dalam suatu lintasan tertentu. Dalam fisika, jarak berupa estimasi fisik dari dua buah posisi berdasarkan kriteria tertentu (misalnya jarak tempuh Denpasar – Bandung). Perbedaan jarak dan posisi adalah jarak tidak memiliki koordinat negatif sedangkan posisi memiliki koordinat negatif. Sederhananya pengertian jarak adalah pergerakan total suatu benda tanpa memperhatikan arah. Kita dapat mendefinisikan jarak sebagai seberapa banyak lintasan yang telah dicapai suatu benda dari titik awal atau akhir, seperti pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Ilustrasi Jarak
 Sumber. Bintang Naisha (www.sridianti.com)

Pada Gambar 2.3, diilustrasikan seseorang menaiki sepeda dari posisi A hingga ke posisi C jadi jarak yang ditempuh hanya panjang lintasan dari A-B-C saja sehingga dalam gambar jika orang yang bersepeda hanya sampai C maka jarak yang ditempuh adalah $4\text{ m} + 3\text{ m} = 7\text{ m}$. Dalam fisika, jarak disimbolkan dengan berbagai macam lambang atau notasi tergantung pada penggunaannya. Oleh karena dalam bahasa inggris jarak adalah *distance*, beberapa ada yang memberi notasi d , ada juga yang memberi simbol x , s , dan huruf-huruf lainnya tentu dengan satuan dalam SI adalah meter. Sehingga rumus jarak tidak dibuat secara khusus, namun hanya dijumlahkan seperti persamaan 2.2.

$$d = d_1 + d_2 \quad 2.2$$

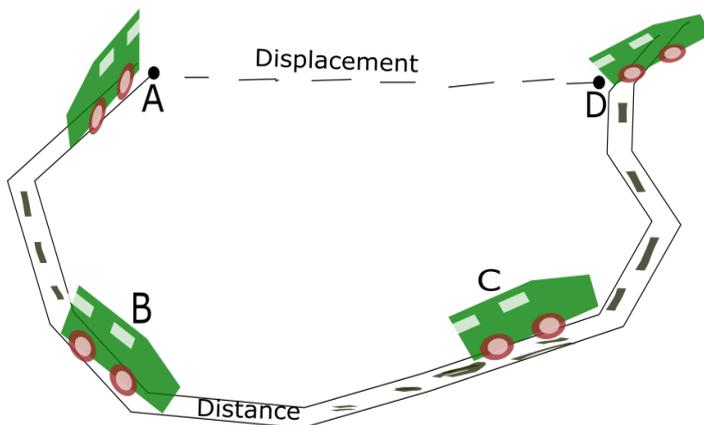
Keterangan:

d_1 = jarak awal, satuan dalam meter (SI)

d_2 = jarak akhir, satuan dalam meter (SI)

Berbeda dengan perpindahan, dari Gambar 2.3 tersebut yang dimaksud perpindahan adalah posisi awal yaitu di titik A dan posisi akhir di titik

C. Namun, perpindahan memiliki prinsip yang sama dengan jarak, perbedaannya terletak pada konsepnya, yang menyatakan bahwa perpindahan memberi tahu kita “seberapa jauh suatu benda telah menempuh jarak”.



Gambar 2.4 Ilustrasi Perpindahan dan Jarak
Sumber. Bintang Naisha (www.sridianti.com)

Mari kita pahami dari ilustrasi Gambar 2.4, ketika jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh mobil dari A menuju D, maka perpindahan hanya fokus pada titik A dan D. Selama bergerak dari posisi 1 ke posisi 2 bisa saja terjadi lintasan yang ditempuh benda bukan garis lurus, tetapi berupa kurva melengkung. Namun perpindahan benda tetap sama. Perpindahan tidak dipengaruhi oleh lintasan yang ditempuh dari posisi awal ke posisi akhir, tetapi hanya bergantung pada vektor posisi awal dan vektor posisi akhir. Misalnya kita gunakan acuan yang berangkat dari terminal Bandung ke terminal Jakarta bisa melewati jalur tol, atau melewati kabupaten Purwakarta, atau melewati Cipanas-Puncak, atau melewati Sukabumi. Tetapi, jalur manapun yang dilewati perpindahan tetap sama karena posisi awal dan posisi akhir semuanya sama. Jika kita menaiki mobil dari Bandung ke Jakarta maka jarak yang ditempuh sekitar 140 km. Namun, nilai ini bukan perpindahan. Perpindahan adalah panjang garis lurus yang menghubungkan Bandung-Jakarta (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Perpindahan Dari Bandung Ke Jakarta Jika Dilihat dari Peta
Sumber. Mikrajuddin, 2016

Perpindahan didefinisikan sebagai perubahan posisi benda dari posisi awal ke posisi akhir. Perpindahan harus dapat mengandung dua unsur, yaitu panjang dan arah. Sehingga perpindahan merupakan besaran vektor. Secara matematis dapat didefinisikan dengan persamaan 2.3 berikut:

$$\Delta x = x_f - x_0 \quad 2.3$$

Keterangan:

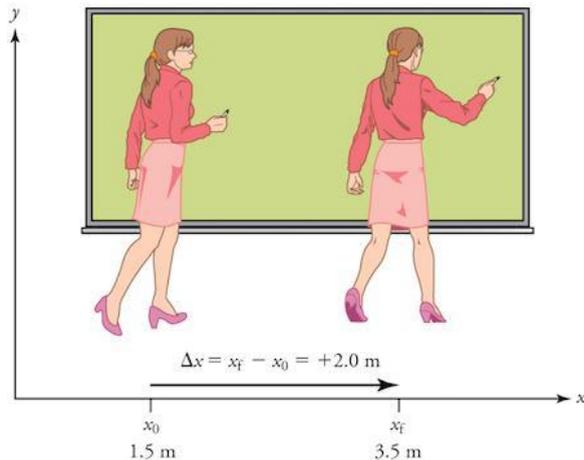
x_f = mengacu pada posisi akhir benda satuan meter (SI).

x_0 = mengacu pada posisi awal benda satuan meter (SI).

Δx = perpindahan suatu benda satuan meter (SI).

Disini penulis notasikan perpindahan dengan Δx . Perpindahan adalah vektor. Artinya, memiliki arah dan juga besaran dan direpresentasikan secara visual sebagai panah yang menunjuk dari posisi awal ke posisi akhir. Misalnya, perhatikan ilustrasi seorang guru yang berjalan relatif terhadap papan tulis pada Gambar 2.5. Posisi awal guru adalah $x_0 = 1,5$ m dan posisi terakhirnya $x_f = 3,5$ m. Dengan demikian, perpindahannya

dapat ditemukan sesuai rumus pada persamaan 2.3 diperoleh $+2,0$ m. Dalam sistem koordinat ini, gerak ke kanan bernilai positif, sedangkan gerak ke kiri bernilai negatif.



Gambar 2.5 Ilustrasi Seorang Guru Mondar-Mandir Ke Kiri Dan Ke Kanan Saat Mengajar.

Sumber. *Openstax College Physics* (www.khanacademy.org)

Kita hampir tidak sadar bahwa jarak yang ditempuh bisa lebih besar dari besarnya perpindahan. Maksudnya besaran adalah ukuran perpindahan tanpa memperhatikan arahnya (yaitu, hanya angka dengan satuannya). Misalnya, dari ilustrasi Gambar 2.5 guru dapat mondar-mandir berkali-kali, mungkin berjalan sejauh 150 meter selama kuliah, namun tetap hanya berada dua meter di sebelah kanan titik awalnya. Dalam hal ini perpindahannya adalah 2 meter, tetapi jarak yang ditempuh adalah 150 meter. Dalam kinematika kita hampir selalu berurusan dengan perpindahan dan besarnya perpindahan dan hampir tidak pernah dengan jarak yang ditempuh. Salah satu cara untuk memikirkan hal ini adalah menganggap Anda menandai awal gerakan dan akhir gerakan. Perpindahan hanyalah perbedaan posisi kedua tanda dan tidak bergantung pada jalur yang diambil saat berjalan di antara kedua tanda tersebut. Jarak yang ditempuh adalah total panjang jalan yang diambil antara dua tanda. Orang sering lupa menyertakan tanda negatif, jika perlu, dalam jawaban mereka untuk perpindahan. Ini terkadang terjadi jika mereka secara tidak sengaja mengurangi posisi akhir dari posisi awal daripada mengurangkan posisi awal dari posisi akhir.

Berikut ini disajikan tabel yang dapat menjelaskan perbedaan jarak dan perpindahan.

Tabel 2.1 Perbedaan Jarak dan Perpindahan

Jarak	Perpindahan
Panjang lengkap lintasan antara dua titik disebut jarak	Perpindahan adalah panjang langsung antara dua titik ketika diukur sepanjang jalur minimum antara dua titik tersebut
Jarak termasuk besaran skalar karena hanya bergantung pada besar dan bukan arah	Perpindahan termasuk besaran vektor karena bergantung pada besar dan arah
Jarak hanya dapat memiliki nilai positif	Perpindahan bisa positif, negatif dan bahkan nol

Persoalan Tentang Jarak dan Perpindahan

Berikut ini akan kita bahas beberapa contoh soal dan penyelesaian tentang jarak dan perpindahan.

1. Seorang pelari berlari 600 meter ke utara kemudian 300 meter ke selatan. Hitung berapa jarak dan perpindahan pelari ini dihitung dari titik asal!

Penyelesaian:

- a. Jarak yang ditempuh pelari itu

$$d = d_1 + d_2$$

$$d = 600 \text{ m} + 300 \text{ m} = 900 \text{ m}$$

- b. Perpindahan pelari, anggap arah utara adalah arah positif dan arah selatan adalah arah negatif.

$$\Delta x = x_f - x_o$$

$$\Delta x = 600 \text{ m} - 300 \text{ m} = 300 \text{ m ke arah utara.}$$

2. Seekor kucing berlari 50 meter ke utara kemudian berbelok 30 meter ke timur sebelum akhirnya ke selatan sejauh 10 meter. Hitung berapa jarak dan perpindahan kucing dari titik asal!

Penyelesaian:

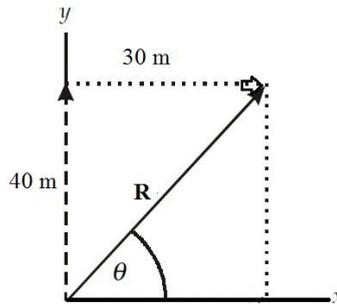
- Jarak yang ditempuh kucing tersebut adalah jumlah lintasan keseluruhan yaitu 90 meter.
- Anggap arah utara adalah arah sumbu y positif dan timur arah sumbu x positif.

Arah sumbu y :

$$\Delta x = x_f - x_o = 50 \text{ m} - 10 \text{ m} = 40 \text{ meter ke utara}$$

Arah sumbu x :

Perpindahannya adalah 30 meter ke timur, sesuai Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6. Gambar Secara Koordinat.

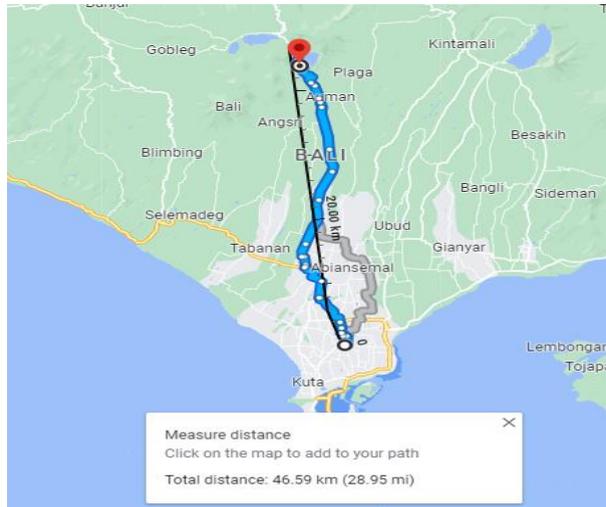
Selanjutnya dengan metode penjumlahan vektor diperoleh besar perpindahan dari R adalah:

$$R = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ m}$$

$$\text{Dengan arahnya } \tan \theta = \frac{40}{30} \text{ atau } \theta = 53,3^\circ$$

Mengukur Perpindahan dengan *Google Maps*

Dengan adanya teknologi yang semakin canggih dan aplikasi map atau peta, hal ini mempermudah mengukur perpindahan di muka bumi. Caranya sangat mudah, hanya dengan membuka website *google maps* atau aplikasi *google maps*, kemudian destinasi lalu tinggal pilih *measure distance* maka akan muncul ukuran perpindahan dengan menarik garis *direction* seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Perpindahan dari Denpasar – Bedugul diukur dengan *Google Maps*

Daftar Pustaka

- A. Mikrajudin. (2016). Diktat Fisika Dasar 1. *Tersedia dalam <https://fmipa.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2017/12/Diktat-Fisika-Dasar-I.pdf>*.
- David Halliday dkk. (2010). *Fisika Dasar Edisi 7 Jilid 2*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Giancoli, Douglas C. (1999). *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Ishaq, Mohamad. (2007). *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Isrok'atun. (2016). *Pendidikan Matematika II*. Jawa Barat: UPI Sumedang Press
- Siregar, Aslam CP. (2018). *Fisika Dasar 1 Jilid 1*. Surabaya: CV. Kanaka Media

Profil Penulis



Ni Luh Putu Mery Marlinda, S.Pd., M.Pd

Lahir di Denpasar pada bulan Maret 1988. Memulai studi pada bidang pendidikan di tahun 2006 dengan berkuliah di jurusan Pendidikan Fisika dan melanjutkan Magister di tahun 2012 pada program studi Pendidikan IPA Universitas Pendidikan Ganesha (Undiksha). Pada tahun 2010 penulis sudah menjadi Dosen pada Jurusan Biologi Universitas PGRI Mahadewa dengan mengampu mata kuliah Biofisika. Pengalaman mengajar lainnya adalah sebagai tutor di KUMON Kuta (2010-2012), pengajar IPA & Fisika pada bimbingan Primagama (2010-2012), pengajar bimbingan belajar Ganesha Operation di Denpasar (2015-2021) dan pengajar IPA di SMP Dwijendra (2011-2018). Saat ini penulis mengabdikan diri pada kampus INSTIKI sejak tahun 2015 mengampu mata kuliah fisika, matematika, dan statistika serta sudah aktif menulis artikel penelitian dan pengabdian baik pada jurnal nasional terakreditasi maupun disajikan pada prosiding. Selain menjadi Dosen, mulai Tahun 2020 penulis menjadi Pembina klub astronomi pada sekolah SMA Negeri 5 Denpasar. Penulis sangat tertarik pada dunia pendidikan dan ingin terus mengabdikan diri dan bermanfaat bagi dunia pendidikan.

Email Penulis: merymarlinda@instiki.ac.id

KELAJUAN DAN KECEPATAN

Wirda

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Muhammadiyah Aceh

Kelajuan

Istilah laju dan kecepatan dalam kehidupan sehari-hari sering disamakan. Tetapi dalam fisika pengertian dua istilah tersebut dibedakan, yaitu kelajuan (*speed*) dan kecepatan (*velocity*). Kelajuan menyatakan seberapa jauh sebuah benda bergerak dalam selang waktu tertentu. Misalkan, kita mengendarai mobil dalam waktu dua jam perjalanan menempuh jarak 100 km. Kita katakan bahwa laju rata-ratanya adalah 100 km/2 jam atau 50 km/jam (Anasufi Banawi, 2013).

Sehingga laju dapat diartikan sebagai jarak yang ditempuh benda sepanjang lintasannya dibagi waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut. Besar kelajuan dapat diamati dengan alat pengukur yang ada pada kendaraan yang disebut *speedometer*. Besar kelajuan tidak bergantung pada arah perjalanan kendaraan sehingga kelajuan merupakan besaran *skalar* dan nilainya selalu positif. Pada umumnya, benda yang sedang bergerak mempunyai kelajuan yang berubah-ubah bergantung pada kondisi lingkungan yang ada. Misalnya, ketika kita mengendarai motor pada jalan yang sempit dan berliku, maka kita akan mengurangi kelajuan. Sedangkan pada saat berada pada jalan raya yang lurus dan sepi, kita akan menambah kelajuan (Daryanto, 2003)

Kelajuan rata-rata didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh (s) tiap satuan waktu (Δt). Secara matematis kelajuan rata-rata (v_r) dapat dirumuskan sebagai:

$$\langle v \rangle = \frac{s}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Disini kita gunakan tanda kurung siku $\langle v \rangle$ sebagai simbol untuk rata-rata.

Kelajuan sesaat didefinisikan sebagai limit kelajuan rata-rata untuk selang waktu sangat sempit. Secara matematis, kelajuan sesaat ($v(t)$) dapat dirumuskan sebagai:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s}{\Delta t} \quad (1.2)$$

Contoh Soal

Sebuah mobil bergerak dengan kelajuan 45 km/jam saat $t = 0$. Mobil dipercepat dengan percepatan konstan 10 km/jam.s.

- berapakah kecepatan mobil saat $t = 1$ dan saat $t = 2$ s?
- berapakah kelajuannya saat t ?

Jawab:

(a). saat $t = 1$ s

$$\begin{aligned} v(1) &= v_0 + a t \\ &= 45 + 10(1) = 55 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

saat $t = 2$ s

$$\begin{aligned} v(1) &= v_0 + a t \\ &= 45 + 10(2) = 65 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

(b). kelajuat saat t

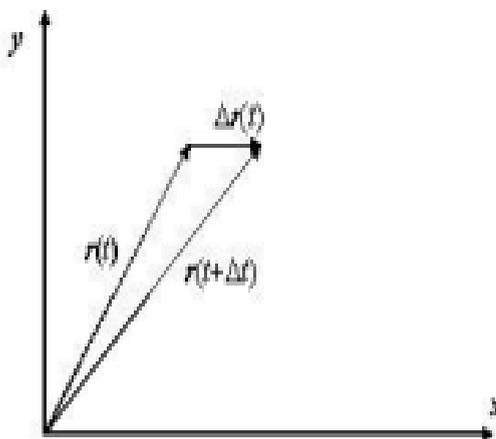
$$\begin{aligned} v(t) &= 45 + 10 t \\ &= 55 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Kecepatan

Kondidi gerak suati titik partikel dideskripsikan oleh perubahan posisi partikel sebagai fungsi waktu, $\vec{r}(t)$. dalam mekanika klasik dianggap tidak tergantung pada sistem kerangka koordinat yang dipilih. Waktu

hanya sebagai sesuat yang mengalir bebas dari besaran-besaran fisis lainnya. Bila fungsi $\vec{r}(t)$ sudah diketahui untuk sembarang waktu t , maka keadaan gerak partikel tadi secara praktis sudah diketahui. Tetapi terkadang informasi tentang gerak partikel tidak diketahui dalam bentuk posisi tetapi dalam besaran-besaran lain yang akan kita definisikan.

Dalam selang waktu Δt , posisi partikel akan berpindah dari menjadi $\vec{r}(t)$ menjadi $\vec{r}(t + \Delta t)$.



Posisinya adalah:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t) \quad (1.3)$$

Kecepatan Rata-rata

Didefinisikan suatu besaran yang kita sebut kecepatan, untuk menggambarkan perubahan posisi ini. Kecepatan rata-rata benda titik dalam selang waktu antara t_1 dan t_2 adalah perbandingan antara perpindahan $\Delta r_{t_1 \rightarrow t_2}$ dengan selang waktu $\Delta t = t_2 - t_1$, atau dapat dituliskan

$$\langle v \rangle_{t_1 \rightarrow t_2} = \frac{\Delta r_{t_1 \rightarrow t_2}}{\Delta t} = \frac{r(t_2) - r(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (1.4)$$

Dimana:

- Perpindahan benda adalah: $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$
- Lama waktu berpindah adalah: $\Delta t = t_2 - t_1$

Kecepatan rata-rata sesuai persamaan (1.4) dapat bernilai nol meskipun benda dalam keadaan gerak, semisal gerak melingkar, elips, dan gerak osilasi. Satuan SI untuk kecepatan rata-rata adalah meter per sekon (m/s). Atau dapat juga kecepatan sebuah partikel adalah laju perubahan posisi partikel terhadap waktu (Muhammad Farchani Rosyid, 2014). Kecepatan rerata partikel dalam selang waktu Δt didefinisikan sebagai:

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

Karena hanya ditentukan oleh perpindahan dan waktu tempuh untuk melakukan perpindahan maka kecepatan rata – rata tidak dipengaruhi lintasan yang ditempuh. Informasi yang kita butuhkan hanya posisi awal, posisi akhir dan waktu tempuh. Serta bagaimana cara benda bergerak selama selang waktu tersebut tidak dapat diperhatikan

Contoh Soal

Pada saat posisi $t = 2$ s posisi sebuah benda adalah $\vec{r}_1 = 10\hat{t} \text{ m}$, pada saat $t = 6$ s posisi benda menjadi $\vec{r}_2 = 8\hat{t} + 10\hat{k} \text{ m}$, pada waktu $t = 16$ s posisi benda adalah $\vec{r}_3 = 15\hat{i} + 10\hat{j} - 5\hat{k}$ meter. Berapakah kecepatan rata – rata benda selama perpindahan dari t_1 ke t_2 , dari t_2 ke t_3 , dan dari t_1 ke t_3 ?

Jawab

Perpindahan benda dari t_1 sampai t_2 adalah

$$\begin{aligned} \Delta\vec{r} &= \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \\ &= (8\hat{t} + 10\hat{k}) - (10\hat{j}) \\ &= -10\hat{j} + 8\hat{k} - 10\hat{k} \text{ m.} \end{aligned}$$

Lama perpindahan benda $\Delta t = 6 - 2 = 4$ s

Kecepatan rata – rata benda dari t_1 sampai t_2 adalah

$$\begin{aligned}
 \langle v \rangle &= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \\
 &= \frac{-10\hat{j} + 8\hat{j} + 10\hat{k}}{4} \\
 &= -2,5\hat{i} + 2\hat{j} + 2,5\hat{k} \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Perpindahan benda dari t_2 sampai t_3 adalah

$$\begin{aligned}
 \Delta \vec{r} &= \vec{r}_3 - \vec{r}_2 \\
 &= (15\hat{i} - 10\hat{j} - 5\hat{k}) - (8\hat{j} + 10\hat{k}) \\
 &= 15\hat{j} - 18\hat{j} - 15\hat{k} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lama perpindahan benda $\Delta t = 16 - 6 = 10 \text{ s}$

Kecepatan rata-rata benda dari t_2 sampai t_3 adalah

$$\begin{aligned}
 \langle v \rangle &= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \\
 &= \frac{15\hat{j} - 18\hat{j} - 15\hat{k}}{10} \\
 &= 1,5\hat{j} - 1,8\hat{j} - 1,5\hat{k} \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Perpindahan benda dari t_1 sampai t_3 adalah

$$\begin{aligned}
 \Delta \vec{r} &= \vec{r}_3 - \vec{r}_1 \\
 &= (15\hat{i} - 10\hat{j} - 5\hat{k}) - (10\hat{i}) \\
 &= 5\hat{i} - 10\hat{j} - 5\hat{k} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lama perpindahan benda $\Delta t = 16 - 2 = 14 \text{ s}$

Kecepatan rata-rata benda dari t_1 sampai t_3 adalah

$$\begin{aligned}
 \langle v \rangle &= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \\
 &= \frac{5\hat{i} - 10\hat{j} - 5\hat{k}}{14}
 \end{aligned}$$

$$= 0,36\hat{i} - 0,71\hat{j} - 0,34\hat{k} \text{ m/s}$$

(Saputra, 2016)

Contoh Soal

Posisi sebuah benda yang sedang bergerak memenuhi hubungan $\vec{r} = 3\hat{i} + 5t^2\hat{j} + 10t^3 \cos(\frac{\pi}{10}t)\hat{k}$ m. berakah kecepatan rata-rata benda antara $t = 0$ s sampai $t = 5$ s?

Jawab

Posisi benda saat $t = 0$ s

$$\vec{r}_1 = 3\hat{i} + 5 \times 0^2\hat{j} + 10 \times 0^3 \times \cos(0)\hat{k} = 3\hat{i} \text{ m}$$

Pada benda saat $t = 5$ s

$$\vec{r}_2 = 3\hat{i} + 5 \times 5^2\hat{j} + 10 \times 5^3 \times \cos(\frac{\pi}{10} \times 5) = 3\hat{i} + 125\hat{j} \text{ m}$$

Perpindahan benda

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (3\hat{i} + 125\hat{j}) - (3\hat{i}) = 125\hat{j}$$

Lama perpindahan benda $\Delta t = 5 - 0 = 5$ s

Kecepatan rata-rata benda

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{125\hat{j}}{5} = 25\hat{j} \text{ m/s}$$

Kecepatan Sesaat

Kecepatan rata-rata tidak memberikan informasi gerak benda tiap saat. Apakah suatu kecepatan benda membesar, mengecil, atau bahkan berhenti tidak terkandung dalam kecepatan rata-rata. Padahal kebanyakan benda memiliki kecepatan yang berbeda pada saat yang berbeda. Sangat jarang benda memiliki kecepatan yang sama selama perjalanan, apabila dalam selang waktu yang lama. Kecepatan sesaat diperoleh dari kecepatan rata-rata dengan mengambil selang waktu yang sangat kecil, yaitu mendekati nol. Dapat pula dikatakan bahwa kecepatan sesaat merupakan kecepatan rata – rata pada selang waktu yang sangat kecil (mendekati nol).

Sekarang ditinjau kecepatan rata-rata benda tersebut di atas dalam selang waktu antara

t dan $t+\Delta t$. Posisi pada masing-masing waktu itu adalah $r(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j} + z(t)\hat{k} = x(t + \Delta t)\hat{i} + y(t + \Delta t)\hat{j} + z(t + \Delta t)\hat{k}$. Oleh karena itu, kecepatan rata-rata dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} \langle v \rangle_{t \rightarrow t+\Delta t} &= \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{(t + \Delta t) - t} \\ &= \frac{x(t + \Delta t)\hat{i} + y(t + \Delta t)\hat{j} + z(t + \Delta t)\hat{k} - x(t)\hat{i} - y(t)\hat{j} - z(t)\hat{k}}{\Delta t} \\ &= \frac{x(t+\Delta t)-x(t)}{\Delta t} \hat{i} + \frac{y(t+\Delta t)-y(t)}{\Delta t} \hat{j} + \frac{z(t+\Delta t)-z(t)}{\Delta t} \hat{k} \end{aligned}$$

Kecepatan sesaat adalah kecepatan rata-rata dengan selang waktu antara t dan $t+\Delta t$

untuk Δt yang sangat kecil (menuju nol). Jadi kecepatan sesaat benda itu adalah

$$\begin{aligned} v &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r(t+\Delta t)-r(t)}{(t+\Delta t)-t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{x(t+\Delta t)-x(t)}{\Delta t} \hat{i} + \frac{y(t+\Delta t)-y(t)}{\Delta t} \hat{j} + \frac{z(t+\Delta t)-z(t)}{\Delta t} \hat{k} \right] \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{x(t+\Delta t)-x(t)}{\Delta t} \hat{i} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{y(t+\Delta t)-y(t)}{\Delta t} \right] \hat{j} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{z(t+\Delta t)-z(t)}{\Delta t} \right] \hat{k} \right] \\ &= \frac{dx}{dt} \hat{i} + \frac{dy}{dt} \hat{j} + \frac{dz}{dt} \hat{k} \end{aligned} \quad (1.6)$$

karena untuk sembarang fungsi $f(t)$,

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(t+\Delta t)-f(t)}{\Delta t} = \frac{df}{dt} \quad (1.7)$$

Selanjutnya kecepatan sesaat hendak dituliskan sebagai

$$v(t) = \frac{dr}{dt} := \frac{dx}{dt} \hat{i} + \frac{dy}{dt} \hat{j} + \frac{dz}{dt} \hat{k} \quad (1.8)$$

atau

$$v(t) = v_x \hat{i} + v_y \hat{j} + v_z \hat{k}$$

Contoh Soal

Sebuah benda bergerak dengan posisi yang memenuhi

$\vec{r} = 4_t \hat{i} + (6_t - 5_{t^2}) \hat{j}$ m. tentukan kecepatan sesaat benda pada saat $t = 2$ s.

Jawab

$$\vec{r}(2) = 4 \times 2\hat{i} + (6 \times 2 - 5 \times 2^2)\hat{j} = 8\hat{i} - 8\hat{j} \text{ m}$$

Pada saat $t = 2 + \Delta t$ s posisi benda adalah

$$\begin{aligned}\vec{r}(2 + \Delta t) &= 4 \times (2 + \Delta t)\hat{i} + (6 \times (2 + \Delta t) - 5 \times (2 + \Delta t)^2)\hat{j} \\ &= (8 + 4\Delta t)\hat{i} - (8 + 14\Delta t + 5\Delta t^2)\hat{j} \text{ m}\end{aligned}$$

Perpindahan benda selama selang waktu $t = 2$ s sampai $t = 2 + \Delta t$ s adalah

$$\begin{aligned}\Delta \vec{r} &= \vec{r}(2 + \Delta t) - \vec{r}(2) = \{(8 + 4\Delta t)\hat{i} - (8 + 14\Delta t + 5\Delta t^2)\hat{j}\} - \{8\hat{i} - 8\hat{j}\} \\ &= 4\Delta t\hat{i} - (14\Delta t + 5\Delta t^2)\hat{j} \text{ m}\end{aligned}$$

Kecepatan rata-rata benda antara $t = 2$ s sampai $t = 2 + \Delta t$ s adalah

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta t\hat{i} - (14\Delta t + 5\Delta t^2)\hat{j}}{\Delta t} = 4\hat{i} - (14 + 5\Delta t)\hat{j} \text{ m/s}$$

Kecepatan sesaat benda pada saat $t = 2$ s diperoleh dengan $\Delta t \rightarrow 0$ yaitu

$$v(t) = 4\hat{i} - (14 + 5 \times 0)\hat{j} = 4\hat{i} - 14\hat{j} \text{ m/s}$$

Cara lain adalah dengan metode diferensial. Kecepatan sesaat benda pada sembarang waktu adalah

$$v(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} = 4\hat{i} + (6 - 10t)\hat{j} \text{ m/s}$$

Kecepatan sesaat benda pada saat $t = 2$ menjadi

$$v(t) = 4\hat{i} + (6 - 10 \times 2)\hat{j} = 4\hat{i} - 14\hat{j} \text{ m/s}$$

Uji Kemampuan

1. Suatu robot mainan bergerak dengan persamaan gerak pada sumbu- x , (satuan posisi dalam meter dan satuan waktu dalam detik.) $z(t) = 0.2t^3 - t$ dan pada sumbu- y adalah $y(t) = 0.5t$. Apabila robot tersebut telah dipindahkan sedemikian rupa sehingga pada $t = 0$ telah berada di titik $(3, 3)$, tentukan
 - a. posisi robot tersebut pada sembarang t ,
 - b. posisi robot tersebut pada $t = 3$, $t = 5$, dan $t = 7$,
 - c. jarak yang ditempuh oleh robot tersebut dari $t = 2$ hingga $t = 6$,
 - d. jarak yang ditempuh oleh robot tersebut dari $t = 3$ hingga $t = 7$,

- e. kecepatan rata-rata robot tersebut pada selang waktu $t = 0$ sampai dengan $t = 5$,
 - f. kecepatan rata-rata robot tersebut pada selang waktu $t = 5$ sampai dengan $t = 10$,
 - g. kelajuan rata-rata robot tersebut pada selang waktu $t = 2$ hingga $t = 6$,
 - h. kelajuan rata-rata robot tersebut pada selang waktu $t = 3$ hingga $t = 7$.
2. Dari sebuah pelabuhan, seorang nahkoda mengarahkan kapalnya ke arah timur laut dan menempuh jarak 234 kilometer, ditempuh selama 6 jam. Kemudian ia berbelok, mengarahkan kapalnya ke utara sejauh 100 kilometer, ditempuh selama 3, 5 jam. Tentukan kecepatan rata-rata kapal tersebut dalam satuan knot.
 3. Sebuah pesawat komersial melaju ke arah barat dari sebuah bandara internasional, menempuh jarak 400 kilometer dalam waktu 30 menit. Kemudian pesawat berbelok ke arah utara dan menempuh jarak 700 kilometer dalam waktu 50 menit. Tentukan kecepatan rata-rata dan kelajuan rata-rata pesawat tersebut dalam satuan Mach.
 4. Diberikan persamaan lintasan benda $r = (3t^2 - t)\hat{i} + (t^2 - 6t - 7)\hat{j} - (2t - 3)\hat{k}$. Tentukan kecepatan sesaat benda tersebut untuk $t = 4$, $t = 6$, dan $t = 8$.
 5. Diberikan persamaan kecepatan sesaat benda $v(t) = 2t\hat{i} + 3\hat{j}$ Apabila pada saat $t = 3$ benda berada pada posisi $\mathbf{r} = 11\hat{i} + 14\hat{j}$ tentukanlah posisinya saat $t = 2$, $t = 5$, dan $t = 8$. (Frevi Fathaero, 2020).

Daftar Pustaka

- Anasufi Banawi. (2013). *Fisika Dasar 1 (Pertama)*. Dua Satu Press.
- Daryanto. (2003). *Fisika Teknik*. PT Bima Adikasara.
- Frevi Fathaero. (2020). *Contoh Latihan Soal Besaran dan Satuan*. Universitas Padjadjaran. <https://doi.org/340931228>
- Muhammad Farchani Rosyid. (2014). *Fisika Dasar (Edisi Pert)*. Perluk.
- Saputra, R. (2016). *Buku Ajar Fisika*. Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Muhammadiyah. <https://doi.org/10.5281>

Profil Penulis



Wirda, M.Pd

Penulis merupakan seorang dosen di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Aceh pada Prodi Teknik Elektromedis. Mata kuliah yang diampu adalah Fisika Dasar, Fisika Lanjut dan Sensor dan Transduser sesuai dengan bidangnya. Penulis juga memiliki beberapa karya tulis yang di publikasi di beberapa jurnal.

Selama ini penulis juga juga terlibat aktif dalam melakukan beberapa penelitian tentang perancangan alat yang berhubungan dengan Teknik Elektromedis. Dengan kesadaran yang tinggi untuk meningkatkan Tri Darma Perguruan tinggi maka penulis juga sangat berkenginginan untuk menulis buku sebanyak-banyaknya. Penulis menamatkan pendidikan srata satu nya pada jurusan Pendidikan Fisika pada tahun 2009, kemudian melanjutkan Srata Duanya pada tahun 2011 pada jurusan Pendidikan Fisika juga. Saat ini penulis selain mengajar di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan juga aktif mengajar di kampus lain dan juga beberapa tempat les, dengan mata ajar Fisika. Harapan penulis adalah dengan semakin banyak menulis buku dan juga melakukan beberapa penelitian dan menghasilkan luaran yang bagus maka semakin baik ilmu yang didapat oleh penulis sendiri.

Email Penulis: wirdaas87@gmail.com

Bergita Gela M Saka

Universitas Kristen Indonesia Toraja

Salah satu materi yang dipelajari dalam kinematika partikel ialah percepatan. Seperti yang kita ketahui bahwa kinematika merupakan ilmu yang mempelajari mengenai gerak yang dapat terjadi tanpa mempedulikan penyebab gerak tersebut dan benda dikatakan bergerak jika benda tersebut mengalami perubahan posisi. Sebuah benda dapat diperlakukan seperti partikel jika benda tersebut dianggap sebagai benda titik tanpa ukuran. Hal itulah yang membuat efek rotasi dan vibrasi yang terjadi pada partikel tidak diperhitungkan (Sumardi, 2012).

Gerak benda dapat diamati melalui perubahan posisi dari benda yang bergerak. Seberapa cepat posisi benda berubah disebut dengan kecepatan, sedangkan seberapa cepat benda bergerak tersebut berubah disebut dengan percepatan (Kristanto, 2020). Dengan kata lain, ketika benda mengalami perubahan kecepatan, baik besar maupun arahnya, maka benda tersebut dikatakan mengalami percepatan. Jika kecepatan benda/partikel berubah selama gerak berlangsung, benda tersebut dikatakan bergerak dengan gerak yang dipercepat atau diperlambat atau benda mempunyai percepatan atau perlambatan. Contoh yang dapat kita ambil ialah kecepatan gerak mobil yang akan bertambah kecepataannya jika kita menekan pedal gas dan berkurang jika kita menekan pedal rem. Percepatan menyatakan seberapa cepat kecepatan berubah. Sama halnya dengan kecepatan, percepatan juga dibedakan menjadi percepatan rata-rata dan percepatan sesaat. Percepatan merupakan besaran vektor sehingga percepatan memiliki besar dan arahnya. Percepatan dilambangkan dengan simbol “a” dan satuan

percepatan dalam SI ialah meter/sekon² (m/s²). Rumus percepatan yaitu:

$$a = \frac{v}{s}$$

Keterangan: a = percepatan (m/s²)

v = kecepatan (m)

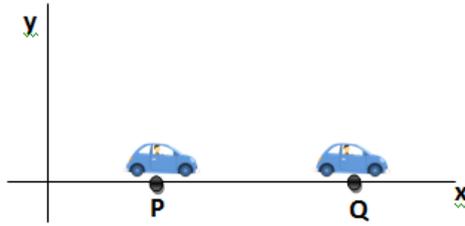
t = waktu (s)

Percepatan dapat mempunyai nilai positif dan negatif. Nilai percepatan positif apabila benda yang mengalami percepatan positif ini bertambah (dipercepat). Sebaliknya percepatan bernilai negatif apabila kecepatan benda menurun (diperlambat). Contoh percepatan positif adalah jatuhnya buah dari pohonnya yang dipengaruhi oleh gravitasi. Sedangkan contoh percepatan negatif adalah dilakukan pengereman mobil.

Percepatan Rata-rata

Ketika suatu benda bergerak, biasanya benda tersebut tidak memiliki kecepatan yang konstan atau tetap melainkan berubah-ubah. Benda memiliki kecepatan yang tetap apabila gerak benda tersebut tetap sedangkan benda yang memiliki kecepatan yang berubah-ubah apabila gerak benda tersebut berubah (Rosyid et al., 2015).

Percepatan rata-rata adalah laju rata-rata perubahan kecepatan atau bisa diartikan perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu. Perbedaan antara kecepatan rata-rata dan percepatan rata-rata adalah kecepatan rata-rata adalah laju rata-rata perubahan posisi, sedangkan percepatan rata-rata adalah laju rata-rata perubahan kecepatan. Gerak partikel sepanjang sumbu x dapat kita lihat pada gambar 1.

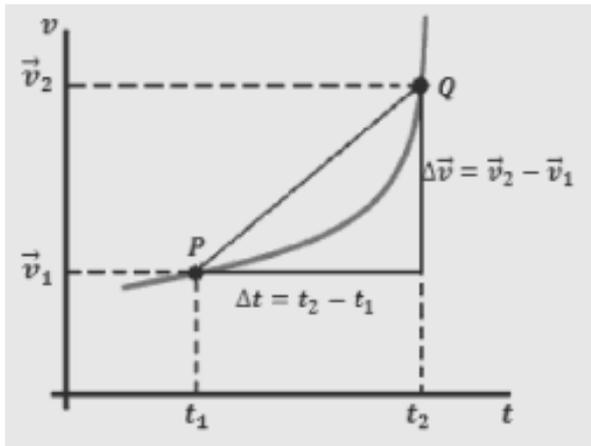


Gambar 4.1. Mobil bergerak dari titik **P** ke titik **Q**

Kita tinjau gerak partikel sepanjang sumbu x yang ditunjukkan dalam gambar 1. Vektor \vec{v}_1 menyatakan kecepatan pada saat di titik **P** dan vektor \vec{v}_2 kecepatan pada saat di titik **Q**. Percepatan rata-rata \bar{a}_x partikel selama bergerak dari titik **P** ke titik **Q** dinyatakan sebagai perbandingan (rasio) perubahan kecepatan partikel Δv_x terhadap selang waktu Δt selama perubahan kecepatan terjadi (Kamajaya & Purnama, 2016).

$$\bar{a} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t_2 - t_1}$$

Pada gambar 4.2 berikut, menunjukkan kecepatan rata-rata yang dilukiskan dengan kemiringan (slope) tali busur **PQ**.



Gambar 4.2. Kecepatan rata-rata pada tali busur **PQ**

Berdasarkan gambar diatas, maka tersebut dapat kita tuliskan menjadi persamaan berikut,

$$\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{a}(t_2 - t_1)$$

Jika diambil $t_1 = 0$ dan $t_2 = t$ (sembarang waktu) maka pada saat $t = 0$, kecepatan $\vec{v}_1 = v_0$ ($v_0 =$ **kecepatan awal**), dan pada saat t , kecepatannya $\vec{v}_2 = \vec{v}$, maka persamaan diatas menjadi

$$\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{a} t$$

Percepatan Sesaat

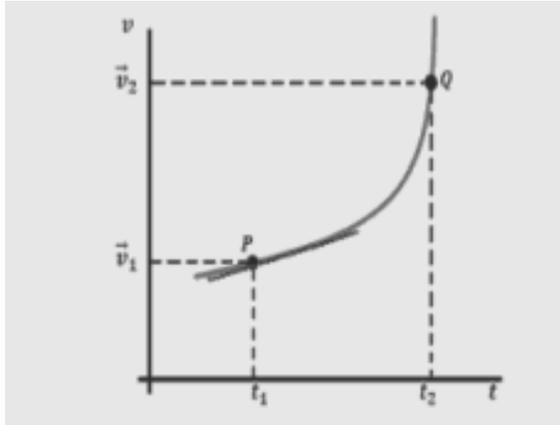
Percepatan sesaat adalah percepatan suatu benda/ partikel saat tertentu atau pada suatu titik di dalam lintasannya . Percepatan sesaat \vec{a}_x pada suatu titik sama dengan harga limit dari rasio $\frac{\Delta v_x}{\Delta t}$ untuk Δt mendekati nol.

$$\vec{a}_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_x}{\Delta t}$$

Dalam notasi kalkulus, harga limit ini merupakan turunan/derivative v_x terhadap t , yang dapat dituliskan dengan $\frac{d v_x}{d t}$ sehingga,

$$\vec{a}_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_x}{\Delta t} = \frac{d \vec{v}_x}{d t}$$

Kurva berikut merupakan kurva yang menggambarkan percepatan sesaat.



Gambar4.3. Kecepatan sesaat pada tali busur PQ

Percepatan sesaat pada setiap titik pada kurva titik di atas dinyatakan dengan kemiringan garis singgung. Oleh karena $\vec{v} = \frac{dx}{dt}$, maka dapat kita nyatakan dalam bentuk lain.

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

Atau dalam bentuk,

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}}{dx} \frac{dx}{dt} = \vec{v} \frac{d\vec{v}}{dx}$$

Dapat disimpulkan bahwa perbedaan antara percepatan rata-rata dan percepatan sesaat ialah berdasarkan selang waktunya dimana pada percepatan rata-rata selang waktu tempuhnya terjadi pada rentang waktu tertentu dan pada percepatan sesaat selang waktu tempuh untuk perubahan kecepatannya terjadi dalam waktu yang singkat (Young & Freedman, 2003).

Contoh Soal.

1. Diketahui sebuah titik materi bergerak pada bidang xy dengan kecepatannya memenuhi persamaan $v = 3t \mathbf{i} + (12-4t) \mathbf{j}$ m/s dengan t dalam sekon. Tentukanlah:

- Percepatan rata-rata titik materi tersebut dalam selang waktu $t = 1$ s dan $t = 2$ s;
- Besar dan arah percepatan rata-ratanya pada selang waktu tersebut.

Jawab:

Diketahui: $v_x = (3t)$ m/s dan $v_y = (12 - 4t)$ m/s

- Pada saat $t_1 = 1$ s

$$v_{x1} = 3(1) = 3 \text{ m/s}$$

$$v_{y1} = 12 - 4(1) = 8 \text{ m/s}$$

Pada saat $t_2 = 2$ s

$$v_{x2} = 3(2) = 6 \text{ m/s}$$

$$v_{y2} = 12 - 4(2) = 4 \text{ m/s}$$

$$\vec{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{x2} - \vec{v}_{x1}}{t_2 - t_1} = \frac{6 - 3}{2 - 1} = 3 \text{ m/s}^2$$

$$\vec{a}_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{y2} - \vec{v}_{y1}}{t_2 - t_1} = \frac{4 - 8}{2 - 1} = -4 \text{ m/s}^2$$

Vektor percepatan rata-ratanya menjadi

$$\vec{a} = \vec{a}_x i + \vec{a}_y j = (3i - 4j) \text{ m/s}^2$$

- Besar percepatan rata-rata:

$$|\vec{a}| = \sqrt{\vec{a}_x^2 + \vec{a}_y^2} = \sqrt{3^2 + (-4)^2}$$

Arah percepatan rata-rata:

$$\tan \theta = \frac{\vec{a}_y}{\vec{a}_x} = \frac{-4 \text{ m/s}^2}{3 \text{ m/s}^2} = -\frac{4}{3} \quad \theta = -53^\circ \text{ (terhadap}$$

sumbu -x

Diketahui sebuah mobil melaju dengan kecepatan awal yaitu 2 m/s. Setelah mobil melaju 10 sekon, kecepatan mobil tersebut bertambah menjadi 4 m/s. Berapa percepatan yang dimiliki oleh mobil tersebut?

Jawab:

Diketahui:

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 4 \text{ m/s}$$

$$t_1 = 0 \text{ sekon}$$

$$t_2 = 10 \text{ sekon}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{4 - 2}{10 - 0} \\ &= \frac{2}{10} = 0,2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

2. Seorang pelajar mengendarai sebuah sepeda dengan kecepatan yaitu 7,2 km/jam. Pada saat menanjak, kecepatan sepeda tersebut sebesar 0,5 m/s² selama 4 sekon. Berapakah percepatan akhir pelajar tersebut?

Jawab:

Diketahui :

$$v_1 = 7,2 \text{ km/jam} = 7,2 (1.000/3.600) \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$$

$$a = -0,5 \text{ m/s}^2 \text{ (tanda negatif yaitu perlambatan)}$$

$$\Delta t = 4 \text{ s}$$

$$\text{Ditanya : } v_2 = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

$$v_2 = v_1 + at$$

$$v_2 = 4 + (-0,5 \times 2)$$

$$v_2 = 3 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 10,8 \text{ km/jam}$$

3. Fitra Seorang pengendara motor dan ia berhenti dari kecepatan 22,5 m/s setelah 2 sekon menekan rem motornya. Tentukan berapa perlambatannya?

Jawab:

Diketahui:

$$v_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$v_1 = 22,5 \text{ m/s}$$

$$t_2 = 2 \text{ s}$$

$$t_1 = 0 \text{ s}$$

Ditanya: $\vec{a} = \dots?$

Penyelesaian:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{0 - 22,5}{2} = -11,25 \text{ m/s}^2$$

(Dikarenakan perlambatan maka nilai percepatannya minus)

4. Sebuah Motor awalnya bergerak dengan kecepatan yaitu 10 m/s kemudian di depannya ada seekor sapi lewat dan akhirnya motor tersebut bergerak dengan kecepatan yakni 2 m/s dalam waktu 4 detik. Hitunglah perlambatan dari motor tersebut?

Jawab :

Diketahui :

$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 2 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 4 \text{ sekon}$$

Ditanya : $\vec{a} = \dots?$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\
 &= \frac{2-10}{4} \\
 &= \frac{-8}{2} \\
 &= -2 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

5. Risti mengendarai mobil dengan kecepatan 72 km/jam kemudian saat melintasi lampu lalu lintas dan berhenti dalam waktu 5 detik. Hitunglah perlambatan yang dialami mobil Risti ?

Jawab :

Diketahui :

$$v_1 = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0 \text{ m/s} \text{ (Dikarenakan mobil risti berhenti artinya diam, maka benda diam mempunyai kecepatannya nol (0))}$$

$$\Delta t = 10 \text{ sekon}$$

Ditanya : $\vec{a} = \dots?$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 \vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\
 &= \frac{0-20}{5} \\
 &= \frac{-20}{5} \\
 &= 4 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

6. Sebuah sepeda motor mula-mula bergerak dari kecepatan 2 m/s menjadi 6 m/s selama 10 detik. Berapakah percepatan sepeda motor tersebut?

Jawab :

Diketahui :

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 6 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 10 \text{ sekon}$$

Ditanya : $a = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\ &= \frac{6-2}{10} \\ &= \frac{4}{10} = 0,4 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

7. Sebuah bus yang awalnya diam kemudian bergerak 36 km/jam selama 5 sekon. Berapakah percepatan bus?

Jawab :

Diketahui :

$v_1 = 0 \text{ m/s}$ (mengapa bernilai nol? karena benda yang diam itu nilai kecepatannya nol.

$$v_2 = 36 \text{ km/jam} = 10 \text{ m/s}$$

$$t = 5 \text{ sekon}$$

ditanya : $\vec{a} = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\ &= \frac{10-0}{5} \\ &= \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

8. Mobil awalnya bergerak dengan kecepatan 10 m/s kemudian di depannya ada kambing lewat dan akhirnya bergerak dengan kecepatan 2 m/s dalam waktu 4 detik. Berapakah perlambatan mobil itu?

Jawab :

Diketahui :

$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 2 \text{ m/s}$$

$$t = 4 \text{ sekon}$$

Ditanya : $\vec{a} = \dots?$

Dijawab :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\ &= \frac{2-10}{4} \\ &= \frac{-8}{4} = -2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Nilai di atas percepatannya negatif. Artinya benda itu mengalami perlambatan. Jadi nilai minus (-) artinya perlambatan.

9. Aliando mengendarai sepeda motor dengan kecepatan 72 km/jam kemudian di depannya ada lampu lalu lintas dan berhenti dalam waktu 10 sekon. Berapakah perlambatan yang dialami motor Aliando?

Jawab :

Diketahui :

$$v_1 = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$$

$v_2 = 0 \text{ m/s}$; mengapa nilainya nol? karena benda itu berhenti artinya diam. Kalau benda diam mempunyai kecepatannya nol (0).

$$t = 10 \text{ sekon}$$

Ditanya : $\vec{a} = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\ &= \frac{0 - 20}{10} \\ &= \frac{-20}{10} = -2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

10. Kecepatan gerak sebuah titik materi memenuhi persamaan $v = 3t i + (12t - 4t^2)j$ m/s dengan t dalam sekon. Tentukanlah:
- Percepatan sesaat titik materi tersebut pada saat $t = 1$ sekon;
 - Besar dan arah percepatan sesaatnya pada selang waktu tersebut.

Jawab :

Diketahui : $\vec{v}_x = (3t)$ m/s dan $\vec{v}_y = (12t - 4t^2)$ m/s.

- a. Besar komponen-komponen percepatannya menjadi

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 3 \text{ m/s}^2 \text{ dan } a_y = \frac{dv_y}{dt} = (12 - 4t^2) \text{ m/s}^2$$

Persamaan percepatan titik materi tersebut,

$$a = a_x i + a_y j = 3i + (12 - 8t)j \text{ m/s}$$

Vektor percepatan sesaat pada $t = 1$ sekon adalah

$$a_x = 3 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = (12 - 8(1)) \text{ m/s}^2$$

$$\vec{a} = (3i + 4j) \text{ m/s}^2$$

- b. Besar percepatan pada saat $t = 2$ s adalah

$$a = |a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ m/s}^2$$

Arah percepatan pada saat $t = 1$ sekon adalah

$$\tan \theta = \frac{a_y}{a_x} = \frac{4 \text{ m/s}^2}{3 \text{ m/s}^2} = - \Rightarrow \theta = -53^\circ \text{ (terhadap sumbu } -x)$$

Daftar Pustaka

- Kamajaya, K., & Purnama, W. (2016). Buku siswa aktif dan kreatif belajar fisika 2 untuk SMA. *MA Kelas Xi Peminatan Matematika Dan Ilmu-Ilmu Alam*, Grafindo Media Utama, Indonesia.
- Kristanto, P. (2020). *Fisika Dasar-Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Penerbit Andi.
- Rosyid, M. F., Firmansah, E., Prabowo, Y. D., & Periuk, P. (2015). *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Periuk.
- Sumardi, Y. (2012). Kinematika Partikel. *Modul 1: Kinematika Partikel 1.1*, 1–22. <http://www.pustaka.ut.ac.id/lib/wp-content/uploads/pdfmk/PEFI4204-M1.pdf>
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2003). *Fisika Universitas edisi kesepuluh jilid 2*.

Profil Penulis



Bergita Gela M Saka, S.Si., M.Sc

Penulis lahir di Ujung Pandang (Makassar) pada tanggal 28 april 1984. Anak ke 3 dari 4 bersaudara ini merupakan lulusan Sarjana Geofisika di Universitas Hasanuddin Makassar tahun 2008 dan juga telah menyelesaikan pendidikan Pascasarjana jurusan ilmu Fisika di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta tahun 2015. Saat ini penulis merupakan pengajar dan aktif melaksanakan tridharma pada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Kristen Indonesia Toraja yang terletak di Kabupaten tana Toraja, Sulawesi Selatan. Matakuliah yang diajarkan yaitu Fisika Dasar, Statistika, Fisika Komputasi, Metode Numerik, Pembelajaran Online, Bahasa inggris fisika, Mekanika, Pengetahuan lingkungan, Medan elektromagnetik, Fisika Modern dan Pengetahuan komputer. Buku yang telah diterbitkan yaitu Buku Panduan Praktikum Fisika untuk Perguruan Tinggi. Saat ini penulis juga aktif sebagai editor di jurnal Pendidikan Fisika Universitas Kristen Indonesia Toraja.

Email Penulis: bergitagelasukumusaka@gmail.com

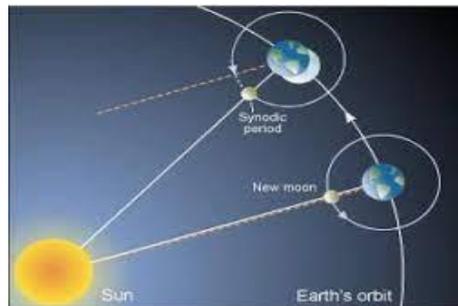
KINEMATIKA ROTASI

Wilson Jefriyanto
Universitas Palangka Raya

Pendahuluan

Kinematika mempelajari gerak benda, baik benda yang bergerak translasi maupun rotasi. Gerak benda tersebut dianalisis tanpa memperhitungkan gaya penyebab gerak benda atau pengaruh lingkungan terhadap gerak benda, sedangkan dinamika mempelajari gerak benda disertai analisis mengenai gaya penyebab gerak benda tersebut. Pada bab ini kita akan fokus mempelajari tentang gerak rotasi benda tanpa memperhitungkan penyebab gerak benda (kinematika rotasi).

Gerak rotasi dapat didefinisikan sebagai suatu gerakan di mana benda berputar di sekitar sumbu tetap. Pada kehidupan sehari-hari kita banyak menjumpai gerak rotasi. Bumi bergerak rotasi mengelilingi matahari dalam orbit berbentuk elips dan planet-planet lainnya. Bulan yang berotasi pada sumbunya untuk mengelilingi bumi.



Gambar 5.1 Gerak rotasi bumi mengelilingi matahari
(Sumber: <http://astro.unl.edu/classaction/images/lunarcycles/synodic.html>)

Kevin Lee

Perpindahan Sudut

Untuk memahami apa yang dimaksud perpindahan sudut, mari kita tinjau sebuah contoh gerak melingkar, misanya gerak roda kendaraan yang berputar. Ketika roda berputar, tampak bahwa selain poros alias pusat roda, bagian lain dari roda selalu berpindah terhadap pusat roda sebagai kerangka acuan. Perpindahan pada gerak melingkar disebut perpindahan sudut ($\Delta\theta$).

Perpindahan sudut ($\Delta\theta$) adalah sudut yang disapu oleh sebuah garis radial mulai dari posisi awal garis θ hingga posisi akhir garis θ . Arah perpindahan sudut adalah sebagai berikut:

1. $\Delta\theta > 0$ untuk putaran berlawanan arah jarum jam.
2. $\Delta\theta < 0$ untuk putaran searah jarum jam.

Satuan SI untuk $\Delta\theta$ adalah rad.

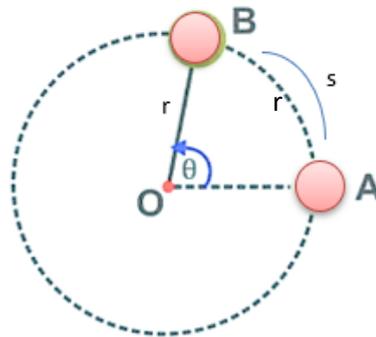
$$\theta \text{ (rad)} = 2 \pi \text{ rad}$$

Nilai konversi sudut yang ada pada perpindahan sudut adalah sebagai berikut:

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

$$1 \text{ rad} = \frac{180}{\pi} \text{ derajat} = 57,3^\circ$$

Derajat, putaran, dan radian merupakan besaran-besaran yang tidak memiliki dimensi.



Gambar 5.2 Perpindahan sudut

Posisi sudut adalah besarnya sudut yang menyatakan panjang lintasan suatu benda yang bergerak melingkar dalam selang waktu tertentu atau bisa dikatakan sudut tempuh benda yang bergerak melingkar. Perhatikan gambar 2 diatas! Ketika benda bergerak dari A ke B menempuh sudut putar θ dan panjang lintasan s . Jika benda berputar satu putaran penuh maka benda tersebut telah menempuh sudut putaran sebesar 360^0 . Satuan θ dalam SI adalah radian (rad).

$$\theta = \frac{2 \pi r}{r} rad$$

$$2 \pi rad = 360^0$$

$$1 rad = \frac{360^0}{2 \pi} = \frac{360^0}{2 \times 3,14} = 57,3$$

Panjang lintasan yang ditempuh benda tersebut untuk satu lingkaran penuh sama dengan keliling lingkaran ($2\pi r$) dengan r adalah jari-jari lingkaran.

$$s = 2\pi r \text{ dan } \Delta\theta = 2\pi$$

$$\text{sehingga } s = \Delta\theta r$$

Contoh Soal:

Sebuah benda bergerak melingkar dengan jari-jari lingkaran yang dibentuknya 80 cm.

Tentukan posisi sudut dalam satuan radian dan derajat jika benda tersebut menempuh

lintasan dengan panjang busur 6 cm

Penyelesaian:

Dalam radian

$$\theta = s/R$$

$$\theta = 6 \text{ cm}/80 \text{ cm}$$

$$\theta = 0,075 \text{ rad}$$

Dalam derajat

$$\theta = (0,075) (57,3^\circ)$$

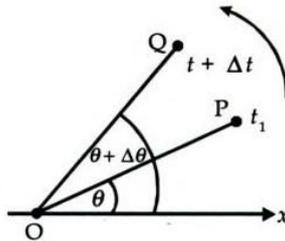
$$\theta = 4,30^\circ$$

Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut adalah perubahan posisi sudut partikel per satuan waktu. Seperti pada gerak lurus, kecepatan sudut juga terbagi menjadi dua yaitu kecepatan sudut rata-rata dan kecepatan sudut sesaat.

1. Kecepatan Sudut Rata-Rata

Perpindahan sudut yang dilakukan partikel yang bergerak melingkar merupakan fungsi waktu. Dalam hal ini kita dapat menuliskan $\theta = \theta(t)$. Perhatikan gambar berikut ini:



Gambar 5.3 perpindahan sudut sebesar $\Delta\theta$ selama selang waktu Δt . Posisi sudut benda di titik P pada saat t dinyatakan sebagai θ . Kemudian, partikel tersebut berpindah selama selang waktu Δt sejauh $\Delta\theta$ sehingga $t + \Delta t$, partikel berada di titik Q dengan posisi $\theta + \Delta\theta$. Perpindahan sudut partikel tersebut adalah

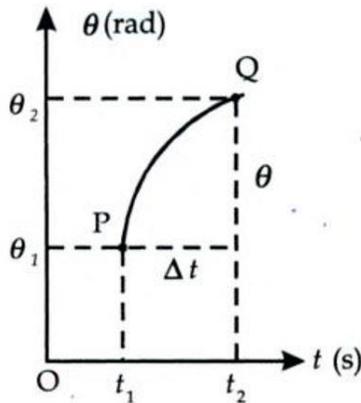
$$\Delta\theta = (\theta + \Delta\theta) - \theta$$

Dengan semikiam, kecepatan sudut partikel dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{\omega} = \frac{(\theta + \Delta\theta) - \theta}{(t + \Delta t) - t} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Oleh karena θ bersatuan derajat, radian, atau putaran, maka dapat bersatuan derajat/sekon, radian/sekon atau putaran per sekon.

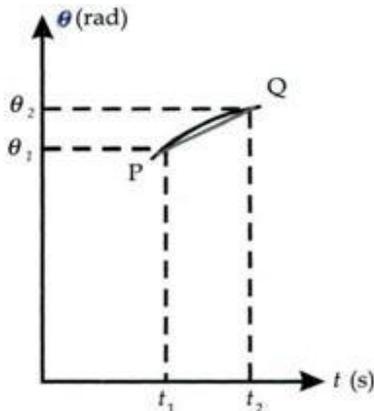
Apabila perpindahan sudut partikel tersebut dibuat grafik hubungan antara posisi sudut (θ) terhadap waktu (t) seperti gambar kita dapat melihat bahwa kecepatan sudut rata-rata dinyatakan sebagai perubahan posisi selama selang waktu tertentu



Gambar 5.4 Perpindahan sudut sebesar $\Delta\theta$ selama selang waktu Δt

2. Kecepatan Sudut Sesaat

Perhatikan grafik posisi sudut terhadap waktu berikut ini:



Gambar 5.5 Grafik posisi sudut θ terhadap waktu

Apabila selang waktu perpindahan partikel yang bergerak melingkar menuju nol, kemiringan garis yang menyatakan kecepatan sudut rata-rata partikel akan semakin curam. Karena itu, kecepatan sudut sesaat dapat didefinisikan sebagai:

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

Atau

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

Jadi dapat kita nyatakan bahwa ω merupakan turunan pertama dari fungsi posisi sudut terhadap waktu. Satuan kecepatan sudut sesaat dinyatakan dalam radian/sekon.

Contoh Soal

Posisi sudut saat titik pada suatu roda dinyatakan oleh $\theta = (3t^2 - 8t + 10)$ rad dengan t dalam satuan sekon. Tentukanlah:

- Posisi sudut titik tersebut pada saat $t = 2$ sekon
- Kecepatan sudut rata-rata selama 10 sekon pertama
- Kecepatan sudut titik pada saat $t = 1$ - sekon

Jawab

- Posisi sudut titik pada saat $t = 2$ s:

$$\begin{aligned} \theta &= (3t^2 - 8t + 10) \text{ rad} \\ &= 3(2)^2 - 8(2) + 10 \\ &= 6 \text{ rad} \end{aligned}$$

- Tentukan lebih dahulu posisi sudut titik pada saat $t = 0$ dan $t = 10$ s

$$\begin{aligned} t = 10 \text{ s} \quad \theta &= (3t^2 - 8t + 10) \text{ rad} \\ \theta &= 3(10)^2 - 8(10) + 10 \\ &= 230 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$t = 0 \quad \theta = 3(0)^2 - 8(0) + 10 = 10 \text{ rad}$$

$$\Delta \theta = 230 \text{ rad} - 10 \text{ rad} = 220 \text{ rad}$$

Untuk selang waktu $\Delta t = 10$ sekon, kecepatan sudut rata-rata:

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{220}{10} = 22 \text{ rad/s}$$

- c. Kecepatan sudut sesaat sebagai fungsi waktu ditentukan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} (3t^2 - 8t + 10) = 6t - 8$$

Kecepatan sudut sesaat titik pada $t = 10$ s adalah

$$\omega = 6t - 8 = 6(10) - 8 = 52 \text{ rad/s}$$

Menentukan Posisi Sudut dari Fungsi Kecepatan Sudut

Fungsi posisi sudut dapat ditentukan dengan cara mengintegrasikan persamaan sudut sebagai fungsi waktu. Cara ini sama dengan menentukan posisi suatu benda dari pengintegralan fungsi kecepatan benda. Dari persamaan 5. Kita telah mengetahui bahwa:

$$\omega(t) = \frac{d\theta}{dt} \rightarrow d\theta = \omega(t)dt$$

Apabila persamaan tersebut diintegrasikan, akan dapat dituliskan persamaan integral sebagai berikut:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \int_0^t \omega(t) dt$$

$$\theta - \theta_0 = \int_0^t \omega(t) dt$$

$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega(t) dt$$

Dengan θ_0 = posisi sudut awal (rad/derajat).

Percepatan Sudut

Seperti pada percepatan pada gerak linear, definisi percepatan sudut pada gerak melingkar yaitu perubahan kecepatan sudut per satuan waktu. Pembahasan mengenai percepatan sudut terbagi atas dua, yaitu, percepatan sudut rata-rata dan percepatan sudut sesaat.

1. Kecepatan Sudut Rata-rata

Kecepatan sudut pada saat t adalah sebesar ω dan pada saat $t + \Delta t$ adalah sebesar $\omega + \Delta\omega$. Percepatan sudut rata-rata partikel tersebut dinyatakan sebagai:

$$\bar{\alpha} = \frac{(\omega + \Delta\omega) - \omega}{(t + \Delta t) - t} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Atau

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

Dengan satuan percepatan sudut α adalah dalam rad/s^2 .

2. Kecepatan Sudut Rata-Rata

Percepatan sudut sesaat didefinisikan sebagai limit percepatan sudut rata-rata untuk selang waktu yang sangat kecil atau Δt menuju nol. Secara matematis, persamaannya dituliskan sebagai berikut:

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

Menentukan kecepatan sudut dari fungsi Percepatan Sudut

Berdasarkan Persamaan 5., kita telah mengetahui bahwa percepatan sudut adalah turunan pertama dari fungsi kecepatan sudut. Oleh karena itu, apabila persamaan percepatan sudut sebagai fungsi waktu suatu partikel diintegrasikan, akan diperoleh persamaan kecepatan sudutnya:

$$\alpha(t) = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = \int_0^t \alpha(t) dt$$

$$\omega - \omega_0 = \int_0^t \alpha(t) dt$$

$$\omega = \omega_0 + \int_0^t \alpha(t) dt$$

dengan ω_0 = kecepatan sudut awal (rad/s)

Analogi Gerak Translasi dan Gerak Rotasi

Gerak rotasi dan gerak translasi (persamaan gerak) memiliki banyak persamaan. Besaran gerak translasi memiliki hubungan dengan gerak rotasi. Hubungan tersebut menghasilkan bentuk persamaan gerak rotasi yang bisa dianalogikan dengan gerak translasi, seperti pada tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Tabel Analogi gerak translasi dan gerak rotasi

Gerak Translasi		Gerak Rotasi		Hubungannya
Perpindahan/keudukan	s/r	Perpindahan sudut (θ)	θ	$s = \theta r$
Kecepatan linear rata-rata	$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Kecepatan sudut rata-rata ($\bar{\omega}$)	$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$	$\bar{v} = \bar{\omega} r$
Kecepatan linear sesaat	$v = \frac{ds}{dt}$	Kecepatan sudut sesaat (ω)	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	$v = \omega r$
Menentukan posisi dari fungsi kecepatan linear	$r = r_0 + \int v dt$	Menentukan posisi sudut dari fungsi kecepatan sudut	$\theta = \theta_0 + \int \omega dt$	
Percepatan linear rata-rata	$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Percepatan sudut rata-rata ($\bar{\alpha}$)	$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	$\bar{a} = \bar{\alpha} r$
Percepatan linear sesaat	$a = \frac{dv}{dt}$	Percepatan linear sesaat	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	$a = \alpha r$
Menentukan kecepatan dari fungsi percepatan	$v = v_0 + \int a dt$	Menentukan kecepatan dari fungsi percepatan	$\omega = \omega_0 + \int \alpha dt$	

Daftar Pustaka

- A. Tipler, Paul. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1. Penerbit. Erlangga: Jakarta
- Josephine, N. E (2020). Modul Fisika Kelas X, Direktorat SMA, Direktorat Jenderal PAUD, DIKDAS dan DIKMEN.
- Saripuddin, Aip, dkk (2018). Praktis Belajar Fisika 2. Penerbit. PT Grafindo Media Pratama Indonesia

Profil Penulis



Wilson Jefriyanto, M.Si

Penulis lahir di Pomalaa tahun 1993 dan menamatkan Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas di Pomalaa, Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara tahun 2010. Kemudian melanjutkan studi S1 di Program Studi Fisika Universitas Negeri Makassar dan mendapatkan gelar Sarjana Fisika 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 mengikut 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 CPNS Dosen di Universitas Palangka Raya pada prodi S1 Fisika hingga saat ini. Fokus riset penulis yaitu tentang mitigasi bencana dan penerapan sensor pergeseran tanah dengan kepakaran di bidang Fisika Instrumentasi.

Email Penulis: wilsonjefriyanto

GERAK LURUS BERATURAN

Febri Rismaningsih
Universitas Islam Syekh-Yusuf

Besaran Gerak Lurus Beraturan

Gerak lurus adalah gerak yang lintasannya berupa garis lurus (Rosyid et al., 2014), (Foster, 2003). Garis lurus dapat digambarkan sebagai garis bilangan yang dibentuk pada sumbu x atau horizontal (Santoso, 2004). Contoh gerak lurus dalam kehidupan sehari-hari yaitu gerak kereta api dan mobil di jalan tol yang relatif lurus, sehingga gerak yang terjadi dapat dianggap sebagai gerak lurus. Gerak Lurus Beraturan didefinisikan sebagai gerak suatu benda dengan kecepatan tetap. Kecepatan tetap artinya baik besar maupun arahnya tetap. Karena kecepatan benda tetap, maka kata kecepatan dapat diganti dengan kelajuan. Dengan demikian, gerak lurus beraturan dapat juga didefinisikan sebagai gerak suatu benda pada lintasan lurus dengan kelajuan tetap (Kanginan, 2007).

Hubungan antara posisi dengan kecepatan pada gerak lurus beraturan yaitu:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (6.1)$$

Dengan v = kecepatan (m/s); s = jarak (m) dan t = waktu tempuh (s). Karena v adalah sebuah nilai yang konstan maka dengan menggunakan metode integral, dari persamaan (6.1) diperoleh

$$s = vt + s_0 \quad (6.2)$$

Dengan s_0 adalah posisi mula-mula. Persamaan (6.2) juga menunjukkan bahwa besar perpindahan dari benda yang bergerak lurus beraturan adalah $\Delta s = s - s_0 = vt$. Persamaan (6.2) $x = vt + x_0$ dengan x_0 adalah posisi awal terhadap titik acuan dan x adalah posisi akhir. Gerak lurus beraturan adalah gerak dengan kecepatan konstan, sehingga percepatannya nol. Hal ini merupakan fakta yang diperoleh dari hubungan percepatan sebagai turunan pertama dari fungsi kecepatan. Karena v adalah nilai yang konstan maka $a = 0$ (College, 2023).

$$a = \frac{dv}{dt} = 0 \quad (6.3)$$

Eksperimen untuk Menyelidiki Gerak Lurus Beraturan

Untuk menyelidiki karakteristik gerak lurus beraturan, dapat menggunakan alat yang disebut *ticker timer*. *Ticker timer* adalah alat yang dapat memberikan ketukan pada pita dengan frekuensi yang tetap, sehingga meninggalkan jejak pada pita. *Ticker timer* ini bisa digunakan untuk menyelidiki hubungan antara perpindahan dengan waktu tempuh suatu benda.

Ketika menghidupkan sumber tegangan (*power supply*) (12-volt, 50 Hz), *ticker timer* akan bergetar pada frekuensi 50 Hz. Artinya bahwa dalam waktu 1 sekon, *ticker timer* akan memberikan 50 ketukan yang terlihat dari titik hitam pada pita. Jarak yang ditempuh dalam waktu 0,02 sekon adalah jarak dari dua titik pada pita.

Pada peristiwa gerak lurus beraturan, benda mempunyai kecepatan tetap setiap waktu. Dengan kecepatan yang tetap ini, berarti dalam selang waktu yang sama, benda akan menempuh jarak yang sama pula (Sasmito, 2010).

1. Tujuan Percobaan

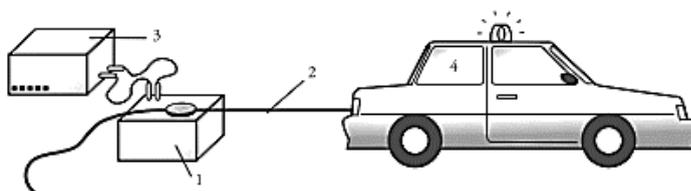
- a. Menyelidiki Gerak Lurus Beraturan dengan *ticker timer*.
- b. Menyelidiki hubungan antara jarak (s) dan waktu (t) pada gerak lurus beraturan.
- c. Menyelidiki hubungan antara kelajuan (v) dengan waktu (t) pada gerak lurus beraturan.

2. Alat dan Bahan

- a. *Ticker timer*
- b. Pita *ticker timer*
- c. Sumber tegangan (*Power supply*)
- d. Mobil-mobilan baterai
- e. Stopwatch
- f. Gunting
- g. Kertas grafik

3. Langkah Kerja

- a. Rangkailah alat seperti gambar berikut



Gambar 6.1. Rangkaian alat percobaan Gerak Lurus Beraturan dengan *ticker timer*

Sumber: (Sasmito, 2010)

- b. Hidupkan *power supply*, *ticker timer*, dan mobil-mobilan. Usahakan mobil-mobilan bergerak pada lintasan lurus dengan cara membuatkan jalur di kanan-kiri mobil-mobilan tersebut.
- c. Setelah 5 sekon, matikan *ticker timer*. Kemudian, ambilah pita *ticker timer*. Buatlah beberapa titik hitam pada pita bagian depan (bagian pita yang paling dekat dengan mobil-mobilan).
- d. Guntinglah pita dalam beberapa bagian, dengan setiap bagian mempunyai 5 titik.
- e. Ukurlah panjang setiap potongan pita.
- f. Tempelkan tiap potongan pita pada kertas grafik. Bagian depan pita berada di paling kiri, dan bagian belakang berada di paling kanan, sehingga diperoleh diagram batang.
- g. Buatlah grafik hubungan antara jarak (s) dan waktu (t) dengan cara menghubungkan titik nomor 1 pada potongan pita paling kiri dengan titik nomor 2 pada potongan pita

kedua, titik nomor 3 pada potongan pita ke tiga dan seterusnya sampai titik teratas pada potongan pita paling kanan.

- h. Buatlah grafik hubungan antara kelajuan (v) dan waktu (t) dengan cara menghubungkan satu titik pada nomor yang sama dari setiap potongan pita yang telah tersusun.

4. Pertanyaan Diskusi

- Mengapa beberapa titik bagian depan pita harus dibuang?
- Adakah perbedaan panjang antara potongan pita yang satu dengan potongan pita lainnya?
- Perhatikan grafik jarak dan waktu yang telah dibuat. Dari grafik tersebut, bagaimanakah hubungan antara jarak dan waktu tempuhnya?
- Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, bagaimanakah karakteristik Gerak Lurus Beraturan?
- Berikan kesimpulan dari eksperimen yang telah dilakukan!

Grafik Gerak Lurus Beraturan

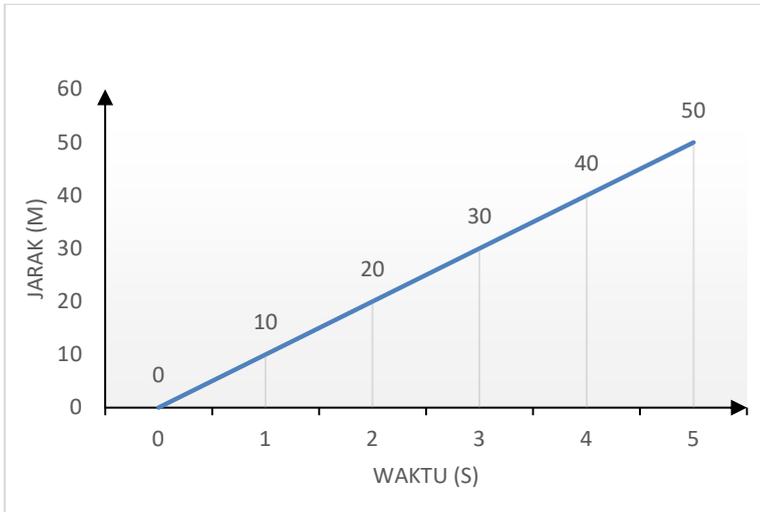
- Grafik jarak terhadap waktu

Misalkan diberikan data dari gerak sebuah benda bergerak lurus beraturan sebagai berikut:

Tabel 6.1 Data Gerak Lurus Beraturan

Waktu t (s)	0	1	2	3	4	5
Jarak s (m)	0	10	20	30	40	50

Setelah data jarak dan waktu diplot pada koordinat kartesius, dengan jarak pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal maka akan didapatkan grafik berikut.



Gambar 6.2. Grafik jarak terhadap waktu
 Sumber: Febri/Medsan

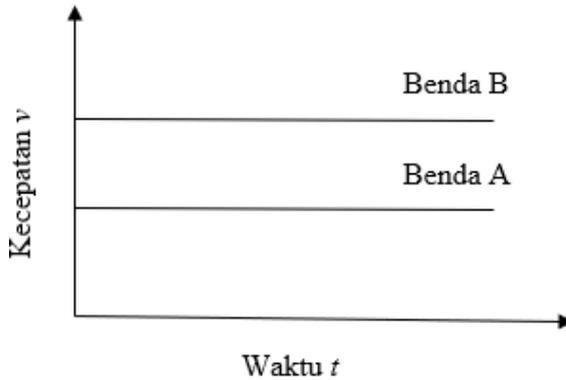
Pada grafik di atas, kecepatan benda dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \text{kemiringan garis} \quad (6.4)$$

Adapun kemiringan garis dari grafik tersebut sama dengan 10 m/s , yang berarti kecepatan benda adalah 10 m/s .

2. Grafik kecepatan terhadap waktu

Pada Gerak Lurus Beraturan, kecepatan benda konstan, sehingga grafik $v - t$ berupa garis mendatar dimana (kemiringan = $0 = a$).



Gambar 6.3 Grafik kecepatan terhadap waktu
 Sumber: (Foster, 2003)

Gambar 6.3 menunjukkan bahwa kecepatan benda *B* lebih besar daripada kecepatan benda *A*, walaupun percepatan keduanya sama, yaitu sama dengan nol (Foster, 2003).

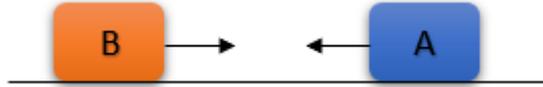
Pada Gerak Lurus Beraturan, terdapat dua kasus yang mungkin terjadi yaitu:

- a. Dua benda bergerak searah
 Benda *A* mula-mula berada di depan benda *B*. Benda *B* kemudian dapat menyusul benda *A*. Kecepatan benda *B* lebih besar daripada kecepatan benda *A* atau $v_B > v_A$. Kasus ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 6.4. Benda bergerak dengan arah yang sama
 Sumber: (Santoso, 2004) yang telah dimodifikasi

- b. Dua benda bergerak berlawanan arah
 Benda *A* dan benda *B* semula terpisah pada jarak (*s*). Kedua benda akan bertemu atau berpapasan pada titik tertentu. Kasus ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 6.5 benda bergerak dengan arah berlawanan
 Sumber: (Santoso, 2004) yang telah dimodifikasi

Contoh dan Solusi

1. Kereta listrik bergerak lurus beraturan dan menempuh jarak 150 cm dalam 5 sekon. Tentukan (a) kecepatannya, (b) lama kereta listrik menempuh jarak 45 cm. (Kanginan, 2007)

Solusi:

Kereta listrik yang mengalami gerak lurus beraturan, gunakan rumus: $\Delta x = vt$ atau $v = \frac{\Delta x}{t}$

Jarak $\Delta x = 150$ cm; selang waktu $t = 5$ s

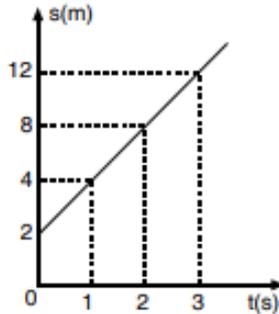
- (a) Kecepatan v adalah

$$v = \frac{\Delta x}{t} = \frac{150 \text{ cm}}{5 \text{ s}} = 30 \text{ cm/s}$$

- (b) Untuk jarak $\Delta x = 45$ cm, selang waktu t , adalah

$$\Delta x = vt \rightarrow t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{45 \text{ cm}}{30 \text{ cm/s}} = 1,5 \text{ sekon}$$

2. Gerak sebuah benda yang melakukan gerak lurus beraturan diwakili oleh grafik s - t di bawah. Berdasarkan grafik tersebut, hitunglah jarak yang ditempuh oleh benda itu dalam waktu:
 - a. 3 sekon, dan
 - b. 10 sekon



Gambar 6.6. Grafik $s - t$ untuk Gerak Lurus Beraturan dengan posisi awal s_0
 Sumber: (Gunawan, 2017)

Gambar di atas menyatakan sebuah benda yang melakukan Gerak Lurus Beraturan yang memiliki posisi awal s_0 . Dari grafik tersebut dapat terlihat kecepatan bendanya yaitu $v = 4 \text{ m/s}$. Hal ini berarti bahwa pada saat awal mengamati benda telah bergerak dan menempuh jarak sejauh $s_0 = 2 \text{ m}$. Jadi solusi dari soal ini yaitu dengan menggunakan persamaan gerak lurus beraturan untuk benda yang sudah bergerak sejak awal pengamatan.

Solusi:

$$s_0 = 2 \text{ m}$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

- a. Jarak yang ditempuh benda pada saat $t = 3 \text{ s}$

$$s(t) = s_0 + vt$$

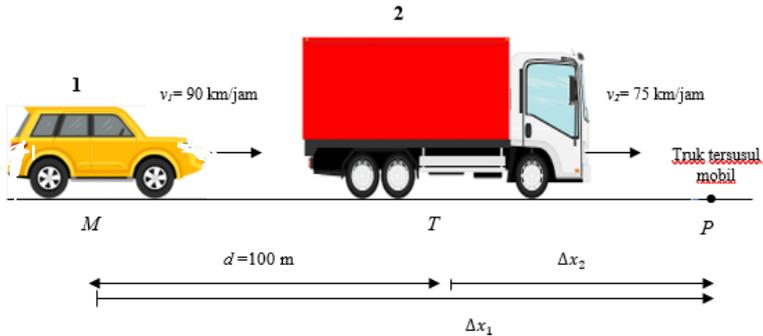
$$\begin{aligned} s(3\text{s}) &= 2\text{m} + \left(\frac{4\text{m}}{\text{s}} \times 3\text{s}\right) \\ &= 14 \text{ meter} \end{aligned}$$

- b. Jarak yang ditempuh benda pada saat $t = 10 \text{ s}$

$$s(t) = s_0 + vt$$

$$\begin{aligned} s(10\text{s}) &= 2\text{m} + \left(\frac{4\text{m}}{\text{s}} \times 10\text{s}\right) \\ &= 42 \text{ meter} \end{aligned}$$

3. Sebuah mobil yang sedang melaju 90 km/jam berada 100 m di belakang sebuah truk yang sedang melaju 75 km/jam. Berapa detik diperlukan mobil untuk menyusul truk? Di manakah mobil menyusul truk? (Kanginan, 2007)



Gambar 6.7. Sketsa kasus susul menyusul pada Gerak Lurus Beraturan
Sumber: (Kanginan, 2007) yang telah dimodifikasi

Solusi:

Mobil (indeks 1) memiliki posisi awal di M dan truk (indeks 2) memiliki posisi awal T . Jika ditetapkan dua titik acuan: titik acuan mobil (1) berimpit dengan M dan titik acuan truk (2) berimpit dengan T , syarat mobil menyusul truk di P adalah:

$$MP - TP = MT$$

$$\Delta x_1 - \Delta x_2 = d$$

dengan

$$\Delta x_1 = \text{jarak tempuh mobil} = v_1 t_1 \text{ dan}$$

$$\Delta x_2 = \text{jarak tempuh truk} = v_2 t_2$$

Sehingga

$$\Delta x_1 - \Delta x_2 = d$$

$$v_1 t_1 - v_2 t_2 = 100 \text{ meter}$$

Misalkan $t_1 = t_2 = t$, maka

$$\left(90 \frac{\text{km}}{\text{jam}}\right) t - \left(75 \frac{\text{km}}{\text{jam}}\right) t = 0,1 \text{ km}$$

$$90t - 75t = 0,1 \text{ jam}$$

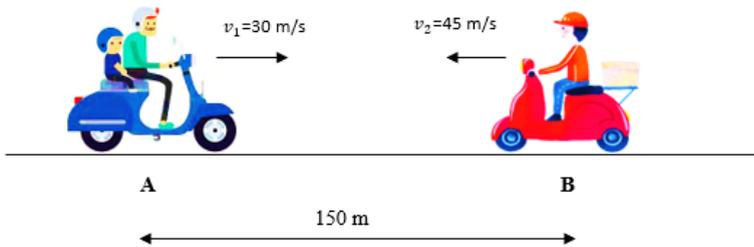
$$15t = 0,1 \text{ jam}$$

$$t = \frac{0,1}{15} \text{ jam} = \frac{0,1}{15} \times 3600 \text{ detik} = 24 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\Delta x_1 &= MP = v_1 t \\ &= 90 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \times \frac{0,1}{15} \text{jam} = 0,6 \text{ km} = 600 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi, mobil menyusul truk setelah 24 detik dan setelah menempuh jarak 600 m.

4. Dua motor, *A* dan *B* terpisah sejauh 150 m dan bergerak saling mendekati masing-masing dengan kecepatan 30 m/s dan 45 m/s. Jika kedua motor berangkat bersamaan, tentukan waktu dan tempat motor akan bertemu.



Gambar 6.8. Sketsa kasus berpapasan pada Gerak Lurus Beraturan
Sumber: Febri/Medsan

Solusi:

Jarak ketika motor *A* berpapasan dengan motor *B*

$$s_A + s_B = 150$$

$$v_A t + v_B t = 150$$

$$(v_A + v_B)t = 150$$

$$(30 + 45)t = 150$$

$$t = \frac{150}{75} = 2 \text{ s}$$

$$s_A = v_A \cdot t = 30 \cdot 2 = 60 \text{ m}$$

$$s_B = v_B \cdot t = 45 \cdot 2 = 90 \text{ m}$$

Jadi motor *A* berpapasan dengan motor *B* setelah 2 sekon, setelah motor *A* berjalan sejauh 60 m dan motor *B* berjalan sejauh 90 m.

5. Jarak Tangerang – Yogyakarta kurang lebih 600 km. Bus A berangkat dari Tangerang pukul 15.00 dengan kelajuan rata-rata 60 km/jam. Bus B berangkat dari Yogyakarta pukul 18.00 dengan kelajuan rata-rata 80 km/jam. Tentukan waktu dan tempat kedua bus bertemu jika menempuh jalan yang sama!

Solusi:

$$s_A + s_B = 600$$

$$v_A \cdot t_A + v_B \cdot t_B = 600$$

$$60 \cdot (t_B + 3) + 80 \cdot t_B = 600$$

$$140t_B = 420$$

$$t_B = 3 \text{ jam}$$

$$t_A = 3 + 3 = 6 \text{ jam}$$

Jadi, bus B membutuhkan waktu 3 jam dan bus A membutuhkan waktu 6 jam. Kedua bus akan bertemu setelah bus A bergerak selama 6 jam atau pada pukul 21.00.

Jarak yang ditempuh:

$$s_A = v_A \cdot t$$

$$s_A = 60 \cdot (3 + 3) = 360 \text{ km}$$

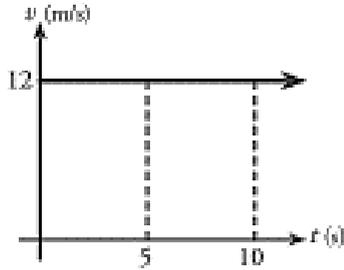
$$s_B = v_B \cdot t$$

$$s_B = 80 \cdot 3 = 240 \text{ km}$$

Kedua bus akan bertemu pada jarak 360 km dari Tangerang atau pada jarak 240 km dari Yogyakarta.

Latihan

1. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan tetap pada jalan tol. Pada jarak 15 km dari gerbang tol mobil bergerak dengan kecepatan tetap 100 km/jam selama 20 menit. Hitung posisi dan jarak yang ditempuh mobil tersebut selama 20 menit!
2. Lani melakukan perjalanan dari suatu kota ke kota lain. Perjalanannya dapat digambarkan pada grafik berikut.



Gambar 6.9. Grafik hubungan $v - t$ dalam perjalanan

Sumber: (Sasmito, 2010)

Dari grafik tersebut, berapakah jarak yang ditempuh pada selang waktu 5-10 sekon?

3. Suatu hari Rafa yang sedang berlari pada kelajuan 9,50 m/s berada 3 m di belakang Rayan yang juga sedang berlari pada kelajuan 9,30 m/s. Berapa detik diperlukan oleh Rafa untuk menyusul Rayan? Dimanakah Rafa menyusul Rayan?
4. Dua buah motor bergerak pada lintasan lurus dan saling mendekati pada jarak 600 m. jika motor pertama bergerak dengan kecepatan 10 m/s dan motor kedua bergerak konstan dengan kecepatan 16 m/s, kapan dan di mana kedua motor tersebut akan bertemu?
5. Jarak Surakarta – Jambi kurang lebih 1040 km. Bus A berangkat dari Surakarta pukul 14.00 dengan kelajuan 70 km/jam. Bus B berangkat dari Jambi pukul 16.00 dengan kelajuan 80 km/jam. Tentukan waktu dan tempat bus bertemu jika menempuh jalan yang sama!

Daftar Pustaka

- College, W. (2023). *Gerak Lurus Beraturan* (Issue 3).
<https://www.wardayacollege.com/fisika/kinematika/gerak-lurus/gerak-lurus-beraturan/>
- Foster, B. (2003). *Terpadu Fisika SMU Jilid 1A* (J. Sutrisno (ed.); 1st ed.). Erlangga.
- Gunawan, D. S. (2017). Kinematika Gerak Lurus. In I. M. Astra (Ed.), *Zenius* (1st ed.).
<https://www.zenius.net/prologmateri/fisika/a/1327/kinematika-gerak-lurus>
- Kanginan, M. (2007). *Fisika 1A* (D. Setiawan & S. N. Andini (eds.); 1st ed.). Erlangga.
- Rosyid, M. F., Firmansah, E., & Prabowo, Y. D. (2014). *Fisika Dasar Jilid 1: Mekanika* (1st ed.). Periuk.
- Santoso, M. (2004). *Gerak Lurus* (B. Jatmiko & Munasir (eds.); 1st ed.). Bagian Proyek Kurikulum, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Sasmito, T. (2010). *Gerak Lurus*.

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) dan Jurnal Ilmiah Citra Bakti. 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

GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN

Iman Noor

Universitas Indraprasta PGRI Jakarta

Pengertian Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Suatu benda dapat melakukan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) jika percepatannya selalu konstan. Percepatan merupakan besaran vektor (besaran yang memiliki besar dan arah). Percepatan konstan berarti besar dan arah percepatan selalu tetap setiap saat. Walaupun besar percepatan suatu benda selalu konstan tetapi jika arah percepatannya berubah maka percepatan benda tersebut tidaklah konstan. Demikian juga sebaliknya jika arah percepatan suatu benda selalu konstan tetapi besar percepatannya selalu berubah maka percepatan benda tidak konstan.

Jika arah percepatan benda selalu konstan maka benda pasti bergerak pada lintasan lurus. Besar percepatan konstan bisa berarti kelajuan bertambah secara konstan atau kelajuan berkurang secara konstan. Ketika kelajuan benda berkurang secara konstan, kejadian seperti ini disebut perlambatan konstan. Gerakan pada lintasan lurus, kata percepatan digunakan ketika arah kecepatan sama dengan arah percepatan, sedangkan kata perlambatan digunakan ketika arah kecepatan dan percepatan berlawanan.

Percepatan benda GLBB selalu konstan setiap saat, sehingga percepatan benda sama dengan percepatan rata-ratanya. Jadi besar percepatan sama dengan besar percepatan rata-rata. Demikian juga arah percepatan sama dengan arah percepatan rata-rata.

Penurunan Rumus Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Pada penjelasan di atas, diketahui bahwa dalam GLBB, percepatan benda adalah tetap. Percepatan benda tersebut konstan sejak awal benda tersebut bergerak, maka bisa dikatakan bahwa percepatan sesaat dan percepatan rata-ratanya adalah sama. Ingat bahwa percepatan benda tersebut tetap setiap saat, dengan demikian percepatan sesaatnya tetap. Percepatan rata-rata sama dengan percepatan sesaat karena percepatan awal ataupun percepatan akhirnya sama, di mana selisih antara percepatan awal dan akhir sama dengan nol. Adapun secara persamaan matematis, percepatan rata-rata adalah:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Dimana perubahan kecepatan (Δv) merupakan selisih besar kecepatan akhir (v_t) dengan besar kecepatan awal (v_o). Oleh karena itu, persamaan di atas dapat dituliskan menjadi:

$$a = \frac{v_t - v_o}{t - t_o}$$

t_o adalah waktu awal ketika benda hendak bergerak, t adalah waktu akhir. Karena pada saat t_o benda belum bergerak maka bisa dikatakan t_o (waktu awal) = 0. Sehingga persamaan (2) berubah menjadi:

$$a = \frac{v_t - v_o}{t}$$

Satu masalah umum dalam GLBB adalah menentukan kecepatan sebuah benda pada waktu tertentu, jika diketahui percepatannya. Oleh karena itu, persamaan (3) di atas dapat digunakan untuk menyatakan persamaan yang menghubungkan kecepatan pada waktu tertentu (v_t), kecepatan awal (v_o) dan percepatan (a). Persamaan matematisnya adalah:

$$at = v_t - v_o$$

$$v_t = v_o + at$$

Ini adalah salah satu persamaan penting dalam GLBB, untuk menentukan kecepatan benda pada waktu tertentu apabila percepatannya diketahui. Selanjutnya, persamaan (4) diuraikan untuk mencari persamaan yang berfungsi menghitung posisi benda setelah waktu t ketika benda tersebut mengalami percepatan tetap.

Sebelumnya diketahui bahwa kecepatan rata-rata berdasarkan persamaan matematis adalah:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_t - x_o}{t - t_o} ; t_o = 0$$

$$\bar{v} = \frac{x_t - x_o}{t}$$

$$x_t = x_o + \bar{v}t$$

Kecepatan rata-rata pada GLBB bertambah secara beraturan, sehingga kecepatan rata-rata akan berada di tengah-tengah antara kecepatan awal dan kecepatan akhir:

$$\bar{v} = \frac{v_o + v_t}{2}$$

Persamaan (7) berlaku untuk percepatan konstan dan tidak berlaku untuk gerak yang percepatannya tidak konstan. Hubungkan persamaan (6) dan persamaan (7) dengan cara substitusi kecepatan rata-rata, maka:

$$x_t = x_o + \bar{v}t$$

$$x_t = x_o + \left(\frac{v_o + v_t}{2}\right)t$$

$$x_t = x_o + \left(\frac{v_o + (v_o + at)}{2}\right)t$$

$$x_t = x_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2$$

Persamaan ini digunakan untuk menentukan posisi suatu benda yang bergerak dengan percepatan tetap. Jika benda mulai bergerak pada titik acuan sama dengan nol (*atau* $x_0 = 0$), maka persamaan (8) dapat ditulis menjadi:

$$x_t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Jika nilai waktu t tidak diketahui, persamaan (6) dan persamaan (7) dapat diuraikan menjadi:

$$x_t = x_0 + \bar{v} t$$

$$x_t = x_0 + \left(\frac{v_0 + v_t}{2} \right) t; \quad t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

$$x_t = x_0 + \left(\frac{v_0 + v_t}{2} \right) \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right)$$

$$x_t = x_0 + \left(\frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} \right)$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2a(x_t - x_0)$$

Jika benda mulai bergerak pada titik acuan sama dengan nol (*atau* $x_0 = 0$), maka persamaannya menjadi:

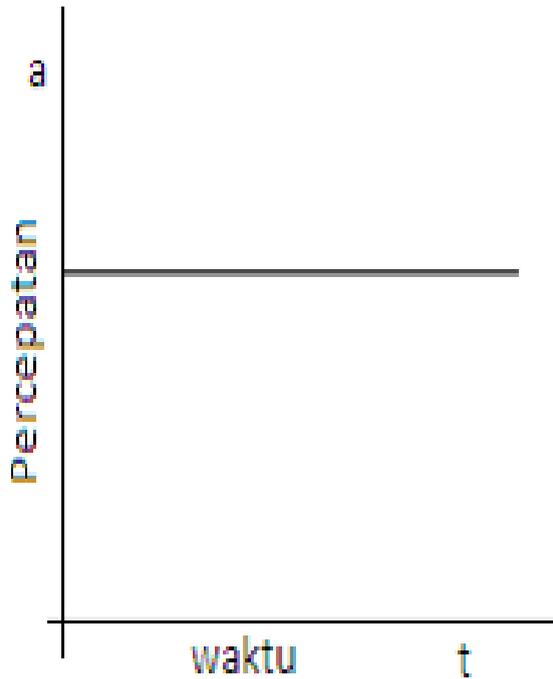
$$v_t^2 = v_0^2 + 2ax_t$$

Terdapat empat persamaan yang menghubungkan posisi, kecepatan, percepatan dan waktu, yaitu persamaan (4), persamaan (6), persamaan (9), dan persamaan (10). Persamaan di atas tidak berlaku jika percepatan tidak konstan.

Grafik Percepatan GLBB Terhadap Waktu

Gerak lurus berubah beraturan adalah gerak lurus dengan percepatan tetap. Oleh karena itu, grafik percepatan terhadap waktu ($a-t$) berbentuk garis lurus horisontal, yang sejajar dengan sumbu t .

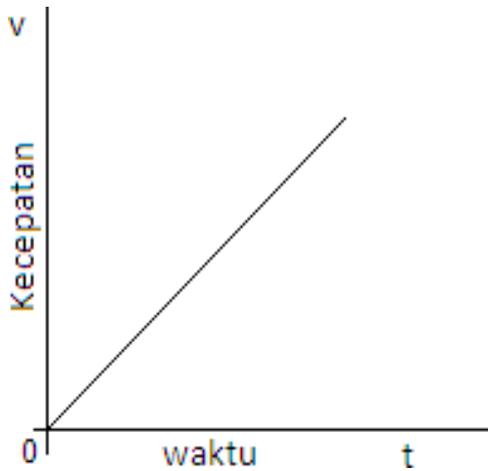
Lihat grafik (a-t) di bawah ini:



Gambar 7.1. Grafik Percepatan Terhadap Waktu (Sumber: Iman Noor/Medsan)

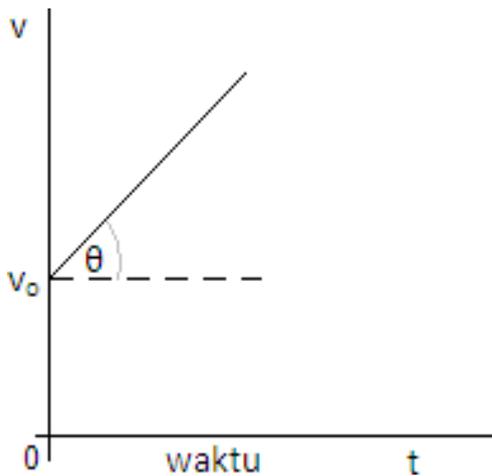
Grafik Kecepatan GLBB Terhadap Waktu (Percepatan +)

Grafik kecepatan terhadap waktu ($v-t$), dapat dikelompokkan menjadi dua bagian. Pertama, grafiknya berbentuk garis lurus miring ke atas melalui titik acuan $O(0,0)$, seperti pada gambar di bawah ini. Grafik ini berlaku apabila kecepatan awal (v_0) = 0, atau dengan kata lain benda bergerak dari keadaan diam.



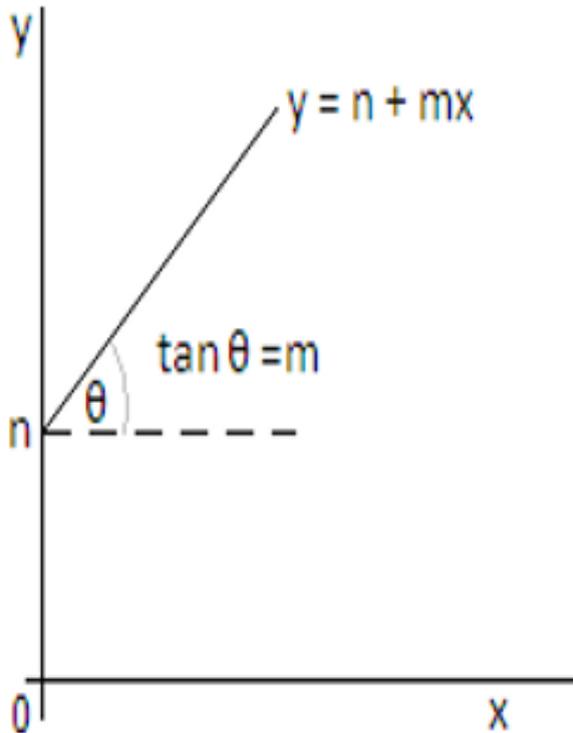
Gambar 7.2. Grafik Kecepatan Terhadap Waktu
(Sumber: Iman Noor/ Medsan)

Kedua, jika kecepatan awal (v_0) tidak nol, maka grafik v-t tetap berbentuk garis lurus miring ke atas, tetapi untuk $t = 0$, grafik dimulai dari v_0 . Lihat gambar di bawah:



Gambar 7.3. Grafik Kecepatan ($v_0 \neq 0$) Terhadap Waktu
(Sumber: Iman Noor/ Medsan)

Grafik seperti ini tentunya sudah pernah dipelajari, yaitu persamaan linear $y = mx + n$ menghasilkan grafik y terhadap x (y sumbu tegak dan x sumbu datar) seperti pada gambar di bawah:



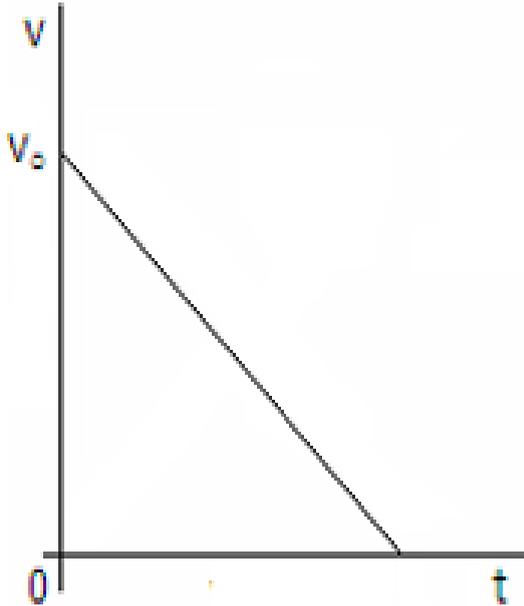
Gambar 7.4. Grafik Persamaan Linear (Sumber: Iman Noor/ Medsan)

Kemiringan grafik (gradien) yaitu tangen sudut terhadap sumbu x positif sama dengan nilai m dalam persamaan $y = n + m x$.

Persamaan $y = n + m x$ mirip dengan persamaan kecepatan GLBB $v = v_0 + at$. Berdasarkan kemiripan ini, jika kemiringan grafik $y - x$ sama dengan m , maka dapat dikatakan bahwa kemiringan grafik $v - t$ sama dengan a . Jadi kemiringan pada grafik kecepatan terhadap waktu ($v - t$) menyatakan nilai percepatan (a).

Grafik Kecepatan GLBB Terhadap Waktu (Percepatan +)

Contoh grafik kecepatan terhadap waktu (v-t) untuk perlambatan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



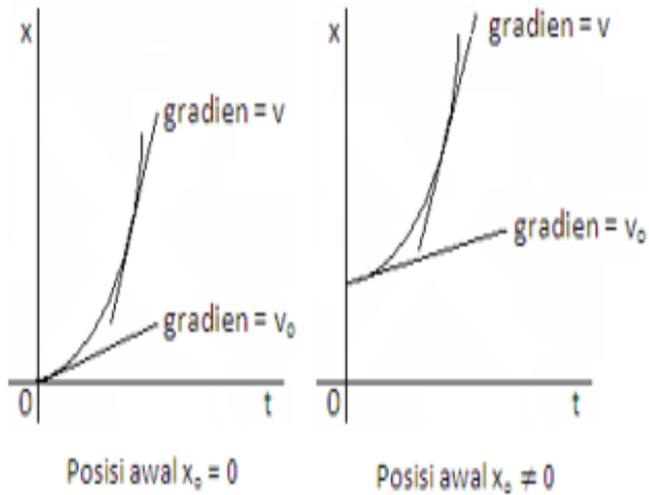
Gambar 5. Grafik Kecepatan($\Delta v=-$) Terhadap Waktu (Sumber: Iman Noor/Medsan)

Grafik Kedudukan Terhadap Waktu

Persamaan kedudukan suatu benda pada GLBB telah didapatkan pada awal pokok bahasan ini, yaitu:

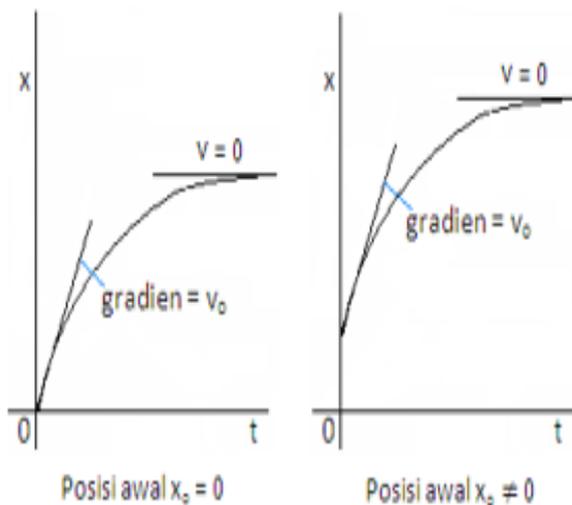
$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Kedudukan (x) merupakan fungsi kuadrat dalam t . dengan demikian, grafik $x - t$ berbentuk parabola. Untuk nilai percepatan positif ($a > 0$), grafik $x - t$ berbentuk parabola terbuka ke atas, sebagaimana tampak pada gambar di bawah ini:



Gambar 6. Grafik Kedudukan($a > 0$) Terhadap Waktu (Sumber: Iman Noor/ Medsan)

Apabila percepatan bernilai negatif ($a < 0$), di mana benda mengalami perlambatan, grafik $x - t$ akan berbentuk parabola terbuka ke bawah.



Gambar 7. Grafik Kedudukan($a < 0$) Terhadap Waktu (Sumber: Iman Noor/ Medsan)

Contoh Soal dan Pembahasan

1. Sebuah mobil sedang bergerak dengan kecepatan 20 m/s ke utara mengalami percepatan tetap 4 m/s² selama 2,5 sekon. Tentukan kecepatan akhirnya!

Penyelesaian:

Pada soal, variabel yang diketahui adalah kecepatan awal (v_0) = 20 m/s, percepatan (a) = 4 m/s² dan waktu tempuh (t) = 2,5 sekon. Sedangkan yang ditanyakan adalah kecepatan akhir, maka penyelesaian persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$v_t = v_0 + at$$

$$v_t = 20 \text{ m/s} + (4 \text{ m/s}^2)(2,5 \text{ s})$$

$$v_t = 20 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s}$$

$$v_t = 30 \text{ m/s}$$

2. Sebuah pesawat terbang mulai bergerak dan dipercepat oleh mesinnya 2 m/s² selama 30 sekon sebelum tinggal landas. Berapa panjang lintasan yang dilalui pesawat selama itu ?

Penyelesaian:

Variabel yang diketahui adalah percepatan (a) = 2 m/s² dan waktu tempuh 30 sekon. Gunakan logika bahwa ada satu hal yang tersembunyi, yaitu kecepatan awal (v_0). Sebelum bergerak, pesawat itu pasti diam. Berarti $v_0 = 0$.

$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

x_0 adalah nol karena pesawat bergerak dari titik acuan nol, sehingga:

$$x_t = 0 + 0(30\text{s}) + \frac{1}{2} (2\text{m/s}^2)(30\text{s})^2$$

$$x_t = 900 \text{ m}$$

3. Sebuah mobil bergerak pada lintasan lurus dengan kecepatan 60 km/jam. Suatu ketika ada rintangan, sopir menginjak pedal rem sehingga mobil mendapat perlambatan (percepatan yang nilainya negatif) 8 m/s².

Berapa jarak yang masih ditempuh mobil setelah pengereman dilakukan?

Penyelesaian:

Cara menyelesaikan soal ini dibutuhkan ketelitian dan logika. Perhatikan bahwa yang ditanyakan adalah jarak yang masih ditempuh setelah pengereman dilakukan. Ini berarti setelah pengereman, mobil tersebut berhenti. dengan demikian kecepatan akhir mobil (v_t) = 0. Selanjutnya menghitung jarak setelah pengereman, maka kecepatan awal (v_o) mobil = 60 km/jam (dikonversi terlebih dahulu menjadi m/s, 60 km/jam = 16,67 m/s). Perlambatan (percepatan yang bernilai negatif) yang dialami mobil = -8 m/s^2 . Variabel yang diketahui adalah v_t , v_o dan a , sedangkan yang ditanyakan adalah s (t tidak diketahui), maka persamaan yang digunakan adalah:

$$v_t^2 = v_o^2 + 2ax_t$$

$$x_t = \frac{v_t^2 - v_o^2}{2a}$$

$$x_t = \frac{0 - (16,67 \text{ m/s})^2}{2(-8 \text{ m/s}^2)}$$

$$x_t = 17,36 \text{ m}$$

4. Seorang anak menjatuhkan sebuah batu dari ketinggian 20 m. Satu detik kemudian, ia melemparkan sebuah batu lain ke bawah. Anggap tidak ada gesekan udara dan percepatan gravitasi 10 m/s^2 . Jika kedua batu tersebut mencapai tanah bersamaan, maka kelajuan awal batu kedua adalah...

Penyelesaian:

Cara menyelesaikan soal ini dibutuhkan ketelitian dan logika. Batu pertama dijatuhkan bebas, artinya kelajuan awal batu pertama adalah nol. Perhatikan bahwa yang ditanyakan adalah kelajuan awal batu kedua dimana kedua batu mencapai tanah secara bersamaan. Ini berarti besar waktu tempuh batu hingga mencapai tanah harus dihitung, sehingga kelajuan awal batu kedua dapat ditentukan berdasarkan persamaan (9). Variabel yang diketahui

adalah ketinggian h , waktu tempuh batu pertama $t+1$ (batu pertama mendahului 1s), waktu tempuh batu kedua t dan gravitasi g , maka persamaan yang digunakan adalah:

$$h = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

waktu tempuh batu kedua t mencapai tanah, dapat ditentukan melalui gerak batu pertama.

$$h_1 = v_0 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$20 = [0(t + 1)] + \frac{1}{2} 10(t + 1)^2$$

$$20 = 5(t + 1)^2$$

$$4 = (t + 1)^2$$

$$2 = (t + 1)$$

$$t = 1 \text{ s}$$

Sehingga kelajuan awal batu kedua yaitu:

$$h_2 = v_0 t_2 + \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$h_2 = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$20 = v_0 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1^2$$

$$v_0 = 15 \text{ m/s}$$

Daftar Pustaka

Giancoli, Douglas C. (1999). *Fisika 1*. Jakarta: Erlangga.

Halliday, D & Resnick. (1994). *Fundamental of physics*. John Wiley & Sons. Inc

Rosyid, M.F, dkk. (2014). *Fisika mekanika*. Yogyakarta: Periuk.

Profil Penulis



Iman Noor, S.Si., M.Si

Ketertarikan penulis terhadap fisika teori dan komputasi bidang pindah panas dimulai pada tahun 2009 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan memilih Jurusan S1 Fisika dan berhasil lulus pada tahun 2014. Pada tahun yang sama, penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S2 di prodi Biofisika IPB pada tahun 2016. Setelah menyelesaikan studi S2, penulis pernah bekerja di perusahaan konsultan engineering sebagai analis. Dua tahun kemudian, penulis aktif mengajar menjadi dosen di program studi Pendidikan Fisika Universitas Indraprasta PGRI Jakarta, serta mengajar di Universitas Nusa Bangsa Bogor.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Fisika Pindah Panas. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Penelitian – penelitian yang dilakukan terbit di penerbit jurnal nasional dan internasional. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: iman.noor009@gmail.com

GERAK JATUH BEBAS

Anisa Budi Putranti

Benda Jatuh Bebas

Dalam kehidupan sehari-hari, mungkin pernah melihat jatuhnya sebuah benda dari suatu ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal. Misalnya buah yang sudah matang jatuh dari pohonnya. Gerak dengan percepatan (hampir) konstan yang sering dijumpai adalah gerak benda yang jatuh ke bumi. Bila tidak ada gesekan udara, ternyata semua benda yang jatuh pada tempat yang sama dipermukaan bumi mengalami percepatan yang sama, tidak bergantung pada ukuran, berat maupun susunan benda, dan jika jarak yang ditempuh selama jatuh tidak terlalu besar, maka percepatannya dapat dianggap konstan selama jatuh. Gerak ideal ini, yang mengabaikan gesekan udara dan perubahan kecil percepatan terhadap ketinggian disebut gerak jatuh bebas. (Halliday&Resnick, 1988)

Jatuh bebas adalah kasus gerak dengan percepatan yang konstan. Besarnya percepatan akibat gravitasi ini adalah besaran positif g . Percepatan benda jatuh bebas selalu ke arah bawah. Percepatan konstan untuk benda jatuh bebas ini dinamakan percepatan akibat gravitasi, dan diberi symbol g . Di dekat atau tepat pada permukaan bumi, nilai g mendekati $9,8 \text{ m/s}^2$, 980 cm/s^2 , atau 32 ft/s^2 . Nilai yang bervariasi tergantung lokasinya. Jadi sering diberikan nilai g di permukaan bumi hanya sampai dua angka penting. Karena g adalah magnitudo dari suatu besaran vektor, g selalu mempunyai nilai positif. Pada permukaan bulan, percepatan akibat gravitasi lebih disebabkan oleh gaya tarik dari bulan dibanding bumi, dan $g = 1,6 \text{ m/s}^2$. Di dekat matahari, $g = 270 \text{ m/s}^2$. (Young&Freedman, 2002)

Persamaan Gerak untuk Benda Jatuh Bebas

Kerangka acuan yang diam terhadap bumi, dengan sumbu-y positif diambil vertikal ke atas. Percepatan gravitasi g dinyatakan dengan sebuah vektor yang berarah vertikal ke bawah (menuju pusat bumi) dalam arah sumbu-y negatif. (Pilihan ini bebas. Dalam soal lain mungkin lebih mudah apabila dipilih positif ke bawah). Persamaan gerak dengan percepatan tetap dengan $y_0 = 0$ diperoleh persamaan di bawah ini.

$$\begin{aligned}V_y &= V_{y0} + a_y t \\y &= \frac{1}{2}(V_{y0} + V_y)t \\y &= V_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \\V_y^2 &= V_{y0}^2 + 2a_y y\end{aligned}$$

Maka untuk persoalan gerak jatuh bebas diambil $a_y = -g$ dengan g adalah besar percepatan gravitasi. Perhatikan bahwa di sini telah dipilih posisi awal pada titik asal, maksudnya pada $t = 0$ dipilih $y_0 = 0$. (Halliday&Resnick, 1988)

Gerak jatuh bebas merupakan gerak lurus berubah beraturan. Namun karena pada gerak jatuh bebas kecepatan awal benda (v_0) adalah nol, maka persamaan-persamaan dalam gerak jatuh bebas akan menjadi

$$\begin{aligned}V_y &= V_{y0} + a_y t \rightarrow v_t = v_0 + gt \rightarrow v_t = gt \\y &= V_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \rightarrow \Delta y = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow \Delta y = \frac{1}{2}gt^2 \\V_y^2 &= V_{y0}^2 + 2a_y y \rightarrow v_t^2 = v_0^2 + 2g\Delta y \rightarrow v_t^2 = 2g\Delta y\end{aligned}$$

dengan g adalah percepatan gravitasi bumi yang fungsinya sama dengan percepatan benda pada umumnya. (Kamajaya, 2007)

Atau dalam persamaan di atas dapat ditulis untuk rumus gerak jatuh bebas yaitu:

$$v_t = gt$$

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$$

$$v_t^2 = 2g\Delta y$$

dengan

v_t = kecepatan benda pada saat t sekon (m/s)

t = waktu yang ditempuh (sekon)

Δy = jarak tempuh benda dalam arah vertikal (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Dalam gerak jatuh bebas, arah gerak (ke bawah) dianggap positif (+) oleh karena itu:

1. Percepatan gravitasi selalu ke bawah, maka tandanya selalu positif.
2. Pada gerak jatuh bebas, posisi dan kecepatan benda setiap saat t berarah ke bawah, maka tandanya juga positif. (Yaz, 2007)

Contoh Soal dan Pembahasan

1. Sebuah benda dilepaskan dari keadaan diam dan jatuh secara bebas. Tentukan posisi dan laju benda setelah bergerak 5 sekon!

Penyelesaian:

Diketahui: Benda gerak jatuh bebas dengan $t = 5$ s.

Ditanya: Δy dan v_t ?

Jawab:

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$$

Dengan memasukkan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, maka untuk $t = 5$ s diperoleh

$$y = \frac{1}{2}(9,8)(5)^2 = 122,5 \text{ m}$$

Laju pada $t = 5\text{s}$, diperoleh dari

$$V_t = gt$$

Maka diperoleh $V_t = (9,8)(5) = 49\text{ m/s}$.

Jadi, setelah jatuh 5 sekon dari keadaan diam, benda berada 122,5 m di bawah titik asal dengan kecepatan berarah ke bawah dan besarnya 49 m/s.

2. Sebuah kelapa jatuh ke tanah dengan laju 19,6 m/s.
 - a. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk sampai ke tanah?
 - b. Berapa ketinggian sebuah kelapa tersebut dari tanah?

Penyelesaian:

Diketahui: $v_t = 19,6\text{ m/s}$

Ditanya:

- a. t ..?
- b. Δy ..?

Jawab:

a. $v_t = gt$

$$19,6 = (9,8)t$$

$$t = \frac{19,6}{9,8}$$

$$t = 2$$

Jadi, lama waktu yang diperlukan sebuah kelapa tersebut untuk sampai ke tanah yaitu 2 sekon.

b. $\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$

$$\Delta y = \frac{1}{2}(9,8)(2)^2$$

$$\Delta y = 19,6$$

Jadi, ketinggian sebuah kelapa tersebut dari tanah yaitu 19,6 meter.

3. Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian 50 m. Berapa ketinggian benda dari permukaan tanah setelah 1 sekon, 2 sekon, dan 3 sekon?

$$(g = 9,8 \text{ m/s}^2)$$

Penyelesaian:

Diketahui:

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$v_0 = 0$$

$$h = 50 \text{ m}$$

Ditanya: Δy setelah 1 s, 2s, 3s ..?

Jawab:

- a. Setelah 1 sekon:

$$\Delta y_1 = \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$\Delta y_1 = \frac{1}{2} (9,8)(1)^2 = 4,9 \text{ m}$$

Jadi, ketinggian benda dari tanah setelah 1 sekon adalah $50 \text{ m} - 4,9 \text{ m} = 45,1 \text{ meter}$

- b. Setelah 2 sekon:

$$\Delta y_2 = \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$\Delta y_2 = \frac{1}{2} (9,8)(2)^2 = 19,6 \text{ m}$$

Jadi, ketinggian benda dari tanah setelah 2 sekon adalah $50 \text{ m} - 19,6 \text{ m} = 30,4 \text{ meter}$

- c. Setelah 3 sekon:

$$\Delta y_3 = \frac{1}{2} g t_3^2$$

$$\Delta y_3 = \frac{1}{2} (9,8)(3)^2 = 44,1 \text{ m}$$

Jadi, ketinggian benda dari tanah setelah 3 sekon adalah $50 \text{ m} - 44,1 \text{ m} = 5,9 \text{ meter}$

4. Sebuah penghapus yang massanya 10 gram jatuh bebas dari ketinggian 20 m di atas tanah. Jika gesekan antara penghapus dan udara diabaikan ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), berapa kecepatan penghapus pada saat sampai di tanah?

Penyelesaian:

Diketahui:

$$m = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$$

$$\Delta y = 20 \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya: v_t ...?

Jawab:

$$v_t^2 = 2g\Delta y$$

$$v_t^2 = 2(9,8)(20)$$

$$v_t = \sqrt{2(9,8)(20)} = 19,8 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan penghapus pada saat sampai di tanah adalah 19,8 m/s

5. Seorang pekerja bangunan ada di atas gedung menjatuhkan balok kayu yang ada di dekatnya. Jika balok kayu jatuh ke tanah dalam waktu 4 s. tentukan:
- Tinggi pekerja dari tanah
 - Kelajuan balok kayu ketika menyentuh tanah
 - Kelajuan dan tinggi balok kayu dari tanah pada saat 1 sekon. ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

Penyelesaian:

Diketahui:

$$t_1 = 4 \text{ sekon}$$

Ditanya:

- Δy_1 ..?

- b. $v_t \dots?$
- c. v_t saat $t = 1 \text{ s} \dots?$

Jawab:

a. $\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$

$$\Delta y = \frac{1}{2}(9,8)(4)^2 = 78,4 \text{ m}$$

Jadi, tinggi pekerja tersebut dari tanah adalah 78,4 meter.

b. $v_t = gt$

$$v_t = (9,8)(4) = 39,2 \text{ m/s}$$

Jadi, kelajuan balok ketika menyentuh tanah adalah 39,2 m/s.

- c. Kelajuan balok kayu dari tanah ketika $t = 1 \text{ s}$:

$$v_t = gt$$

$$v_t = (9,8)(1) = 9,8 \text{ m/s}$$

Tinggi balok kayu dari tanah ketika $t = 1 \text{ s}$:

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\Delta y = \frac{1}{2}(9,8)(1)^2 = 4,9 \text{ m}$$

$$\text{Ketinggian dari tanah} = 78,4 - 4,9 = 73,5 \text{ m}$$

Jadi, kelajuan dan tinggi balok kayu dari tanah pada saat 1 sekon adalah $v_t = 9,8 \text{ m/s}$ dan $\Delta y = 73,5 \text{ m}$.

6. Dua bola m_1 dan m_2 bermassa 1 kg dan 2 kg. Kedua bola tersebut dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 20 m terhadap tanah. Adapun bola ketiga m_3 bermassa 1 kg dijatuhkan dari ketinggian 10 m dari tanah. Bagaimanakah hubungan besaran gerak di antara bola-bola tersebut untuk: ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)
- a. Kecepatan ketika bola-bola tersebut mencapai tanah,
 - b. Waktu yang diperlukan bola-bola tersebut untuk mencapai tanah.

Penyelesaian:

Diketahui:

$$m_1 = 1 \text{ kg} \quad \Delta y_1 \text{ dan } \Delta y_2 = 20 \text{ m}$$

$$m_2 = 2 \text{ kg} \quad \Delta y_3 = 10 \text{ m}$$

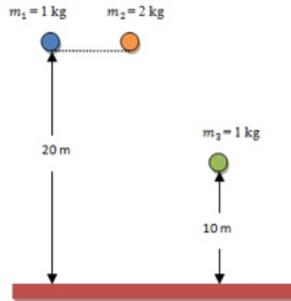
$$m_3 = 1 \text{ kg}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya:

a. v_{t1} , v_{t2} , dan v_{t3} ...?

b. t_1 , t_2 , t_3 ...?



Gambar 8.1

Jawab:

a. $v_t^2 = 2g\Delta y$

$$v_{t1}^2 = 2(9,8)(20) = 392 \quad \Rightarrow \quad v_{t1} = 19,8 \text{ m/s}$$

$$v_{t2}^2 = 2(9,8)(20) = 392 \quad \Rightarrow \quad v_{t2} = 19,8 \text{ m/s}$$

$$v_{t3}^2 = 2(9,8)(10) = 196 \quad \Rightarrow \quad v_{t3} = 14 \text{ m/s}$$

Jadi, hubungan kecepatan di antara bola-bola tersebut adalah

$$v_{t1} = v_{t2} > v_{t3}$$

Pada hasil tersebut, kecepatan benda tidak bergantung pada massa benda, tetapi bergantung pada posisi atau tinggi benda ketika dijatuhkan.

b. $v_t = gt$

$$t = \frac{v_t}{g}$$

$$t_1 = \frac{v_{t1}}{g} = \frac{19,8}{9,8} = 2,02 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{v_{t2}}{g} = \frac{19,8}{9,8} = 2,02 \text{ s}$$

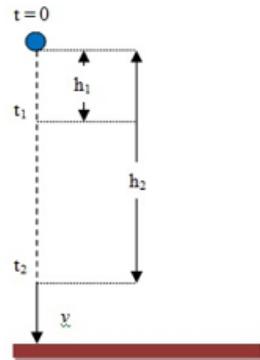
$$t_3 = \frac{v_{t3}}{g} = \frac{14}{9,8} = 1,4 \text{ s}$$

Jadi, waktu yang diperlukan untuk bola-bola tersebut mencapai tanah adalah

$$t_1 = t_2 > t_3$$

7. Sebuah bola dilepaskan dari keadaan diam melintasi jarak h_1 dalam waktu t_1 dan jarak h_2 dalam waktu t_2 seperti pada Gambar 8.2.

- a. Jika $\frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{4}$, berapa perbandingan $\frac{h_1}{h_2}$?
 b. Jika $\frac{h_1}{h_2} = \frac{9}{16}$, berapa perbandingan $\frac{t_1}{t_2}$?



Gambar 8.2

Penyelesaian:

- a. Persamaan difokuskan pada hubungan antara perpindahan dan waktu, sehingga digunakan persamaan:

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2, \text{ untuk } \Delta y = h, \text{ maka persamaan menjadi}$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow h_1 = \frac{1}{2}gt_1^2 \text{ dan } h_2 = \frac{1}{2}gt_2^2$$

Jadi,

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\frac{1}{2}gt_1^2}{\frac{1}{2}gt_2^2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1^2}{4^2} = \frac{1}{16}$$

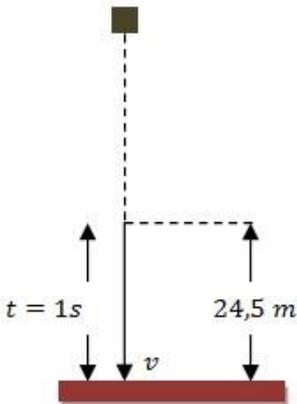
- b. Dengan menggunakan hubungan antara perpindahan dan waktu, diperoleh

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

$$\frac{9}{16} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{3}{4}$$

8. Perhatikan Gambar 8.3 di bawah ini.



Gambar 8.3

Sebuah benda dijatuhkan dari keadaan diam dan menempuh lintasan 24,5 meter pada sekon terakhir gerakannya. Berapa tinggi benda ketika dijatuhkan?

Penyelesaian:

Diketahui:

$$\Delta y_1 = 24,5 \text{ m}$$

$$t_1 = 1 \text{ s}$$

Ditanya:

$$\Delta y_0..?$$

Jawab:

$$\Delta y_1 = v_1 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$24,5 = v_1 (1) + \frac{1}{2} (9,8)(1)^2$$

$$24,5 = v_1 + 4,9$$

$$v_1 = 24,5 - 4,9 = 19,6 \text{ m/s}$$

Waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan 19,6 m/s diperoleh dengan persamaan:

$$v_t = gt$$

$$v_1 = gt \rightarrow 19,6 = (9,8)t$$

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

Total waktu yang digunakan benda untuk gerak jatuh bebas adalah $1 + 2 = 3 \text{ s}$

Jadi, untuk tinggi awal benda ketika dijatuhkan yaitu

$$\Delta y_0 = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\Delta y_0 = \frac{1}{2} (9,8)(3)^2 = 44,1 \text{ m}$$

Daftar Pustaka

- Halliday & Resnick. (1988). *Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Kamajaya. (2007). *Cerdas Belajar Fisika untuk Kelas X Sekolah Menengah Atas/ Madrasah Aliyah*. Bandung: Grafindo Media Pratama.
- Young, D. Hugh & Freedman, Roger A. (2002). *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Yaz, M.Ali. (2007). *Fisika 1 SMA kelas X*. Jakarta: Quadra.

Profil Penulis



Anisa Budi Putranti, M.Sc

Ketertarikan penulis terhadap ilmu sains dimulai pada tahun 2003 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas jurusan IPA di SMA Negeri 2 Pati dan berhasil menyelesaikan studinya pada tahun 2006. Penulis kemudian melanjutkan ke Perguruan Tinggi Negeri di Universitas Negeri Yogyakarta jurusan Fisika dan berhasil menyelesaikan S1-nya pada tahun 2011. Pada tahun 2015, penulis berhasil menyelesaikan studi S2-nya di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta jurusan Fisika.

Penulis berharap tulisan yang ditulisnya dapat bermanfaat bagi pembacanya. Selain itu, penulis juga berharap dengan menulis buku dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: anisabp18@gmail.com

GERAK PADA DATAR

Muh. Said L

Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam
Negeri Alauddin Makassar

Definisi Gerak Pada Bidang Datar

Gerak benda merupakan perubahan suatu kedudukan atau posisi benda dari kedudukan mula-mula ke kedudukan akhir, atau dengan kata lain suatu benda mengalami pergerakan jika posisinya berubah. Gerak suatu benda dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu menurut perilaku kecepataannya, titik acuan pengamatannya dan bentuk lintasannya. Gerak benda dilihat dari perilaku kecepataannya dibedakan menjadi dua yaitu pertama, gerak lurus dengan kecepatan tetap (konstan atau tidak berubah-ubah) atau nilai percepatannya sama dengan nol. Gerak ini disebut gerak lurus secara beraturan (GLB). Kedua, gerak lurus dengan kecepatan berubah-ubah secara beraturan (percepatan tetap). Gerak ini disebut gerak lurus berubah beraturan (GLBB) (Tipler, 1998). Kedua gerak tersebut telah dibahas pada materi sebelumnya.

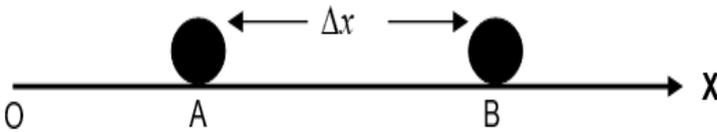
Berdasarkan titik acuan pengamatannya gerak benda dibagi menjadi dua yaitu gerak semu dan gerak relative (Giancoli, 2001). Gerak semu itu sifatnya ilusi, seolah-olah melihat benda lain bergerak misalnya saat kita berada di atas kendaraan mobil yang bergerak, maka seakan-akan melihat pohon, rumah, pemandangan lainnya diluar bergerak, pada hal mobil yang dikendarailah yang sebenarnya bergerak. Gerak ini disebut gerak semu. Sedangkan gerak relatif yaitu gerak yang sifatnya bergantung pada titik acuan (posisi awal pengamatan). Selanjutnya, gerak benda berdasarkan bentuk lintasannya terdiri dari gerak dengan lintasan lurus, gerak berbentuk lintasan melingkar (gerak melingkar)

dan gerak lintasan parabola (gerak parabola). Ketiga gerak benda ini akan dibahas lebih detail karena ketiganya termasuk gerak bidang datar.

Gerak pada bidang datar adalah suatu perpaduan gerak dua dimensi. Dalam kehidupan sehari-hari, gerak bidang datar sangatlah mudah diaplikasikan mulai dari gerak bidang datar dalam satu dimensi (baik arah horizontal maupun vertikal), gerak bidang datar dalam dua dimensi (gerak parabola) maupun gerak melingkar. Pada pembahasan berikutnya, akan lebih dipertajam konsep dasar fisiknya mengenai aplikasi bidang datar.

Gerak Lurus Arah Horizontal

Gerak lurus dapat ditinjau dari keadaan arah horizontal dan vertikal. Berikut akan dibahas gerak lurus suatu benda yang bergerak dari titik A ke titik B . Pada saat t benda di titik A ($OA = x$) dan kecepatannya v . Pada saat t' benda di titik B ($OB = x'$) dengan kecepatannya v' . Perhatikan $\Delta x = x' - x$ dan $\Delta t = t' - t$ pada gambar 9.1 berikut:



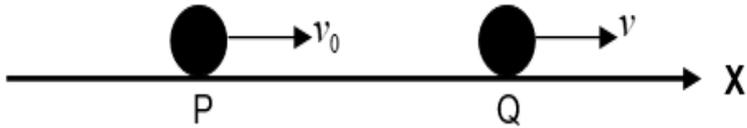
Gambar 9.1: Benda bergerak lurus dari A ke B

Kecepatan rata-rata v (*average velocity*) antara titik A dan B didefinisikan oleh:

$$v_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{9.1}$$

Satuan kecepatan dalam sistem Standar Internasional (SI) adalah m/s.

Bila kecepatan suatu benda semakin bertambah, maka dapat dikatakan bahwa benda telah 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 (ditunjukkan pada gambar 9.2).



Gambar 9.2: Benda bergerak lurus dari P ke Q

Percepatan rata-rata selama interval tersebut didefinisikan sebagai perbandingan perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu (Bueche & Hecht, 2006), yaitu:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (9.2)$$

Oleh karena $v - v_0$ adalah vektor dan $t - t_0$ adalah skalar, maka \mathbf{a} adalah vektor. Satuan percepatan dalam SI adalah m/s^2 . Jika ditinjau dari percepatan sesaatnya, maka dinyatakan sebagai:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (9.3)$$

Oleh karena $v = \frac{dx}{dt}$, maka: $a = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2}$

Dari persamaan (9.2), maka dapat dijabarkan menjadi:

$$a(t - t_0) = v - v_0$$

atau: $v = v_0 + a(t - t_0)$

Pada saat benda mulai bergerak maka $t_0 = 0$, sehingga dituliskan menjadi:

$$v = v_0 + a.t \quad (9.4)$$

Oleh karena $v = \frac{dx}{dt}$ atau $dx = v \cdot dt$

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

Sehingga diperoleh:
$$x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (9.5)$$

Kecepatan v juga bisa dapat diperoleh tanpa memperhitungkan variabel jarak yaitu:

$$v_2^2 = v_0^2 + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (9.6)$$

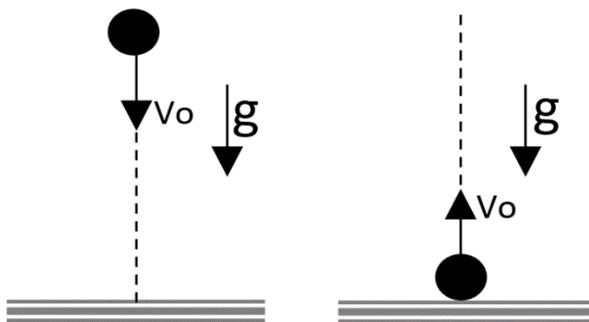
Dengan melakukan pemfaktoran pada persamaan (9.6) dan memasukkan nilai persamaan (9.4), maka diperoleh persamaan berikut:

$$x = \frac{v + v_0}{2} \cdot t \quad (9.7)$$

Jika kecepatan pada benda atau sistem menjadi semakin berkurang (mengecil) maka sistem tersebut mengalami perlambatan akibat faktor gesekan atau mendapat pengurangan kecepatan. Persamaan (9.5) disebut sebagai persamaan gerak lurus berubah beraturan tanpa variabel kecepatan akhir. Persamaan (9.6) disebut sebagai persamaan gerak lurus berubah beraturan tanpa variabel jarak. Persamaan (9.7) disebut persamaan gerak lurus berubah beraturan tanpa variabel percepatan. *(Coba dibuktikan persamaan (9.6) dan (9.7)).*

Gerak Lurus Arah Vertikal Pengaruh Gravitasi Bumi

Benda yang bergerak lurus dengan berubah beraturan secara dipercepat, jika dilempar vertikal ke bawah menggunakan kecepatan awal v_0 (searah dengan percepatan gravitasi bumi), seperti pada gambar 9.3 sebagai berikut:



Gambar 9.3: Gerak benda dengan arah vertikal dilempar (a) ke bawah dan (b) ke atas

Masing-masing kecepatan v_t dan ketinggian y dinyatakan (Giancoli, 2001):

$$v_t = v_o + g.t \quad (9.8a)$$

$$y = v_o.t + \frac{1}{2} g.t^2 \quad (9.8b)$$

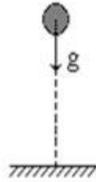
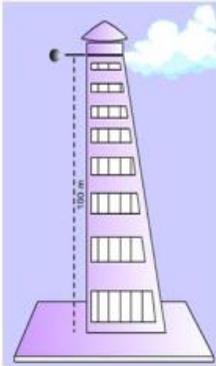
Sebaliknya, jika benda dilempar vertikal ke atas maka gerak lurus yang terjadi adalah gerak lurus berubah beraturan secara diperlambat dengan menggunakan kecepatan mula-mula v_o (karena melawan pengaruh gravitasi bumi). Gerak benda tersebut jika berada pada ketinggian puncak tertinggi (maksimum), maka $v_t = 0$ (atau parameternya disebut kecepatan akhir bernilai 0); dan saat mencapai keadaan dasar permukaan tanah maka ketinggian h menghasilkan 0 ($y = 0$) (Zemansky, 1986).

$$v_t = v_o - g.t \quad (9.9a)$$

$$y = v_o.t - \frac{1}{2} .g.t^2 \quad (9.9b)$$

dengan y = jarak atau ketinggian yang ditempuh oleh benda setelah t detik.

Jika sebuah benda dilepaskan pada suatu ketinggian tertentu tanpa kecepatan mula-mula v_o , maka benda akan jatuh ke bawah. Mengapa demikian? Ini mudah diperoleh jawabannya yaitu karena adanya pengaruh gaya gravitasi bumi yang searah dengan percepatan benda. Peristiwa gerak jatuh bebas adalah suatu gerak benda dengan lintasan lurus secara berubah beraturan (GLBB) tanpa kecepatan mula-mula (v_o). Oleh karena adanya pengaruh gaya gravitasi atau gaya tarik bumi, maka percepatan yang dihasilkan disebut percepatan gravitasi bumi g (Zemansky, 1986).



Misalkan suatu benda dijatuhkan dari suatu ketinggian tertentu, maka kecepatan v_t dan ketinggian y dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$v_t = g \cdot t \quad (9.10)$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad (9.11)$$

Jika suatu benda mengalami jatuh bebas pada ketinggian h tertentu di atas permukaan tanah, maka waktu yang dibutuhkan untuk sampai di tanah

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (9.12)$$

Gambar 9.4: Benda jatuh bebas dari suatu ketinggian

Kecepatan benda saat mencapai di permukaan tanah (dasar) adalah sesuai dengan persamaan (9.6), ketika benda dijatuhkan $v_0 = 0$ dan $a = g$, maka berlaku:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (9.13)$$

Tinggi maksimum h yang dicapai oleh benda dapat diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan (9.12) sebagai waktu t ke dalam persamaan (9.5) dimana $a = -g$, maka diperoleh:

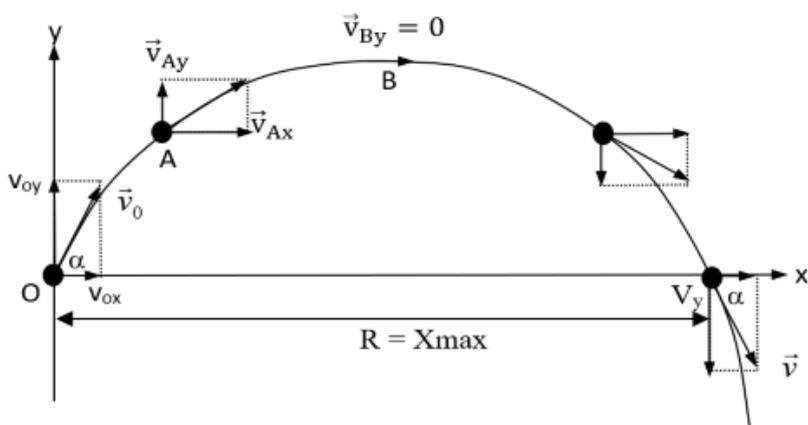
$$h = \frac{v_0^2}{2g} \quad (9.14)$$

Gerak Parabola (Gerak Peluru)

Gerak proyektil dalam kehidupan sehari-hari sangat mudah kita jumpai, gerak ini disebut gerak parabola atau sering disebut gerak peluru. Istilah proyektil merupakan sembarang benda yang diberi dengan kecepatan mula-mula v_0 tertentu kemudian melakukan gerakan sesuai lintasannya. Gerak tersebut dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi g (Young & Freedman, 2002). Sebagai contoh, sebuah bola basket yang dilemparkan masuk ke keranjangnya, seorang pesepak bola menendang bolanya, sebuah peluru ditembakkan dari senapan.

Pada pembahasan gerak parabola ini, faktor gaya gesekan akan diabaikan. Definisi gerak parabola yaitu suatu gerak perpaduan dua dimensi dari benda yang dilempar dengan kemiringan ke atas (lintasan parabola). Gerak parabola dipengaruhi oleh dua arah yaitu nilai percepatan gravitasi bumi secara vertikal ke bawah ($a_y = -g$) dan percepatan benda menjadi nol pada arah horizontal ($a_x = 0$) (Young & Freedman, 2002).

Sebagai contoh misalkan pada saat $t = 0$ partikel terletak di titik (x_0, y_0) . Komponen kecepatan awalnya ke arah sumbu x berturut-turut adalah v_{0x} dan v_{0y} . Komponen-komponen percepatannya adalah $a_x = 0$.



Gambar 9.5: Lintasan gerak proyektil

Pada kasus gerak proyektil ini, persamaannya dapat ditinjau pada dua arah yaitu lintasan sumbu x dan sumbu y (Tipler, 1998). Pada lintasan sumbu x , masing-masing kecepatan dan jaraknya berlaku:

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t \tag{9.15}$$

Sedangkan pada lintasan sumbu y berlaku:

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \tag{9.16}$$

Berdasarkan gambar 9.5, ketika benda mencapai pada titik A, maka besar kecepatannya menjadi:

$$v_A = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2} \quad (9.17)$$

dan sudut fasenya diperoleh:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_Y}{v_X} \quad (9.18)$$

Pada saat partikel berada pada ketinggian maksimum di titik B, maka kecepatan $v_y = 0$, maka dari persamaan (9.16) diperoleh y_{\max} sebesar:

$$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (9.19)$$

dan waktu yang dibutuhkan sebesar:

$$t_{\max} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (9.20)$$

Artinya pada titik tertinggi dicapai partikel pada gerak parabola jika $\alpha = 90^\circ$

Sedangkan pada jarak maksimum (titik terjauh) yang dihasilkan oleh partikel secara horizontal ($y = 0$) yaitu:

$$t = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (9.21)$$

Jika persamaan (9.21) disubstitusi ke persamaan (9.15) dan berlaku secara persamaan trigonometri $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$, maka jarak jangkauan maksimumnya yaitu:

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (9.22)$$

Nilai jarak maksimum (x_{\max}) diperoleh jika sudut yang terbentuk sebesar $\alpha = 45^\circ$ atau $\sin \alpha = 90^\circ$.

Contoh Kasus:

Seorang pemain sepak bola menendang bolanya hingga bola melintas secara parabola, jika tendangan kaki berkecepatan awal 20,0 m/s dengan membentuk sudut sebesar $37,0^\circ$, tentukanlah masing-masing besarnya parameter berikut:

- Ketinggian maksimum (h_{\max}) bola saat ditendang.
- Waktu tempuh bola saat menyentuh dasar tanah.
- Jarak dengan arah horizontal bola saat menyentuh dasar tanah.
- Kecepatan pada saat mencapai tinggi maksimum, dan
- Percepatan pada saat mencapai tinggi maksimum.

Solusi:

Diketahui $v_o = 20,0 \text{ m/s}$; $\alpha = 37,0^\circ$

Kecepatan pada arah sumbu x: $v_{x0} = v_o \cos 37,0^\circ = (20,0 \text{ m/s}) (0,799) = 16,0 \text{ m/s}$

Kecepatan pada arah sumbu y: $v_{y0} = v_o \sin 37,0^\circ = (20,0 \text{ m/s}) (0,602) = 12,0 \text{ m/s}$

- Pada saat mencapai tinggi maksimum (h_{\max}), maka kecepatan $v_y = 0$, sehingga:

$$v_y = v_{y0} - gt$$

$$0 = v_{y0} - gt$$

$$\text{atau: } t = \frac{v_{y0}}{g} = \frac{12,0 \text{ m/s}}{9,8 \text{ m/s}^2} = 1,22 \text{ s}$$

Jadi:

$$h_{\max} = v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 = (12,0 \text{ m/s})(1,22 \text{ s}) - \frac{1}{2}(9,8 \text{ m/s}^2)(1,22 \text{ s})^2 = 7,35 \text{ m}$$

Cara lain nilai h_{\max} diperoleh sebagai berikut:

$$y = \frac{v_{y0}^2 - v_y^2}{2g} = \frac{(12,0)^2 - (0,0)^2}{2(9,8)} = 7,35 \text{ m}$$

- b. Mula-mula bola ditendang ditendang pada $y_0 = 0$, kemudian setelah mencapai dasar tanah maka $y = 0$, sehingga:

$$y = y_0 + v_{y0} t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$0 = 0 + v_{y0} t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$v_{y0} t = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$\text{atau } t = \frac{2v_{y0}}{g}, \text{ sehingga:}$$

$$t = \frac{2(12,0 \text{ m/s})}{9,8 \text{ m/s}^2} = 2,45 \text{ s.}$$

- c. Jarak hori zontal bola saat menyentuh dasar tanah diperoleh:

$$x = x_0 + v_{x0} t \text{ dengan } x_0 = 0, \text{ maka}$$

$$x = v_{x0} t = (16,0) (2,45) = 39,20 \text{ meter.}$$

- d. Vektor kecepatan pada saat mencapai tinggi maksimum, berlaku:

$$v = v_x + v_y$$

Pada saat mencapai tinggi maksimum kecepatan v_y diperoleh sebesar $= 0 \text{ m/s}$, sehingga:

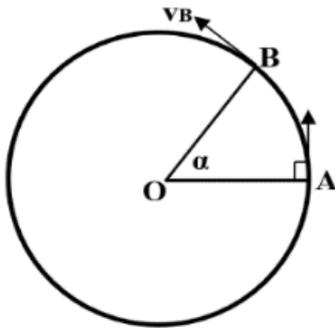
$$v = v_x = v_{x0} = v_0 \cos 37,0^\circ$$

$$v = 16,0 \text{ m/s.}$$

- e. Vektor percepatan pada tinggi maksimum diperoleh $a = -g = -9,80 \text{ m/s}^2$.

Gerak Melingkar

Pada gambar 9.6 ditunjukkan sebuah partikel A pada titik koordinat O (bidang XY) bergerak secara melingkar, sehingga berubah pada vektor posisi B tertentu. Sudut α dinyatakan sebagai posisi sudut atau koordinat gerak melingkar di A. Jika sudut α pengukurannya dilakukan mulai dari sumbu positif berlawanan dengan arah putaran jam, maka sudut α menjadi berharga positif begitupun sebaliknya.



Gambar 9.6: Partikel A dengan vektor posisi B bergerak secara melingkar

Untuk membahas lebih detail gerak melingkar, maka satuan sudut α yang digunakan adalah radian. Besar atau nilai sudut tengah lingkaran dengan jari-jarinya sama panjang busurnya disebut satu radian (1 rad). Secara persamaan fisis, hubungan sudut α dalam radian dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{s}{r} \quad (9.23)$$

dengan r = jari-jari lingkaran (m) dan s = panjang busur (m)

Pada gambar (9.6) di atas, jari-jari lingkaran r sama dengan panjang busur s , maka sudut yang dibentuk oleh α besarnya sama dengan 1 radian. Ketika partikel A bergerak satu putaran penuh maka dapat disetarakan sebesar 2π radian, atau 1 putaran = 2π rad atau sebesar 60° .

Dapat didefinisikan bahwa $1 \text{ rad} = \frac{360}{2} = 57,3^\circ$.

Pada gerak melingkar atau dalam gerak rotasi, posisi titik yang bergerak melingkar dinyatakan sebagai satu radian (1 rad), baik benda bergerak rotasi secara beraturan (GMB) maupun secara tak beraturan (GMTB).

Pada pembahasan gerak melingkar, ada beberapa parameter yang perlu dipahami yaitu periode, frekuensi, kecepatan sudut, kecepatan angular, kecepatan partikel, percepatan sentripetal, dan gaya sentripetal (Halliday, D & R. Resnick, 1980). Berikut akan diuraikan secara satu persatu parameter tersebut:

- a. Periode yaitu waktu yang dibutuhkan oleh partikel A untuk bergerak sampai satu lingkaran penuh, simbol periode adalah T dalam sekon.
- b. Frekuensi, yaitu jumlah putaran yang dihasilkan setiap detik, simbolnya adalah f . Periode dan frekuensi berbanding terbalik yaitu

$$f \cdot T = 1$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (9.24a)$$

$$\text{Atau } f = \frac{1}{T} \quad (9.24b)$$

- c. Kecepatan sudut merupakan suatu perubahan dari perpindahan sudut per satuan waktu. Kecepatan sudut juga sering diistilahkan sebagai kecepatan anguler dengan simbol ω , secara persamaan dituliskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad (9.25)$$

Kecepatan anguler biasanya dinyatakan radian per detik atau putaran per detik atau derajat per detik. Pada persamaan (9.25), θ sebagai sudut dalam radian dan t sebagai waktu yang diperlukan dalam membentuk sudut θ .

Pada gambar (9.6) di atas, juga berlaku bahwa 1 putaran penuh dihasilkan kecepatan angulernya mencapai $\frac{2\pi}{T}$ dalam satuan radian per detik. Hubungannya dapat dirumuskan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (9.26)$$

Dari persamaan (9.25), sudut yang dibentuk pada saat t detik diperoleh:

$$\theta = \omega t \text{ atau } \theta = 2\pi f t \quad (9.27)$$

- d. Kecepatan linier, didefinisikan sebagai besarnya jarak tempuh per satuan waktu, persamaannya dituliskan:

$$v = \frac{s}{t} \quad (9.28)$$

Kelajuan suatu partikel pada titik A saat bergerak mengelilingi satu putaran penuh dalam menempuh jangka waktu t detik sepanjang

keliling lingkaran dihasilkan sebesar $2\pi R$. Kecepatan v ini disebut kecepatan linier. Secara formula, kecepatan sudut ω dengan kecepatan linier v dirumuskan secara fisis:

$$\omega = \frac{v}{r}, \text{ atau } v = \omega \cdot r \quad (9.29)$$

- e. Jika partikel (benda) melakukan gerak melingkar dengan kelajuan konstan, maka arahnya mempunyai perubahan yang tetap. Artinya, partikel tersebut harus memiliki percepatan yang merubah arah dari kecepatan tersebut. Arah dari percepatan ini akan selalu tegak lurus dengan arah kecepatan, yakni arah percepatan selalu menuju ke arah pusat lingkaran (Zemansky, 1986). Percepatan ini disebut percepatan sentripetal, disimbolkan a_s , dengan persamaan:

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (9.30)$$

- f. Gaya sentripetal (sombolnya F_s), merupakan besarnya gaya yang dihasilkan yang akibatnya benda bergerak melingkar beraturan atau sering disebut *gaya radial*. Arah gaya sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran. Gaya yang melawan gaya sentripetal disebut pula gaya sentripugal, yaitu selalu menjauhi pusat lingkaran. Besarnya F_s dinyatakan dengan persamaan:

$$F_s = m \cdot a_s$$

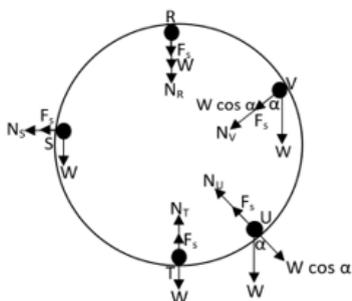
atau:

$$F_s = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r \quad (9.31)$$

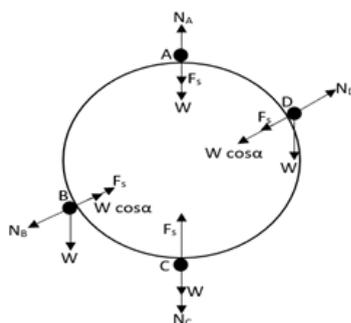
Dengan r adalah jari-jari lingkaran dalam m; ω adalah kecepatan sudut dalam rad/s; m sebagai massa benda dalam kg; F_s adalah gaya sentripetal/sentrifugal dalam N; a_s adalah percepatan sentripetal/sentrifugal dalam m/s^2 ; dan v adalah kecepatan linier dalam m/s.

Analisis Gaya Normal Benda Saat Melakukan Gerak Melingkar

Kasus benda yang bergerak di dalam dan di luar dinding lingkaran akan dianalisis satu persatu. Pada masing-masing titik R, S, T, U, dan V seperti pada gambar 9.7 benda bergerak berada di dalam dinding lingkaran sedangkan pada titik A, B, C dan D benda bergerak berada di luar dinding lingkaran. Perhatikan gambar 9.7 dan 9.8 berikut ini:



Gambar 9.7: Gerak benda di dalam dinding melingkar



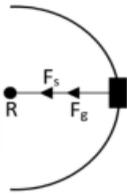
Gambar 9.8: Gerak benda di dalam dinding melingkar

Analisis gaya normalnya dapat ditentukan dengan memperhatikan posisi gaya masing-masing setiap titik benda, yaitu:

Benda bergerak berada di dalam dinding lingkaran	
Untuk titik R sebagai titik teratas:	Untuk titik T sebagai titik terendah:
$F_R = m \cdot \frac{v_R^2}{r}$ $N_R + m \cdot g = m \cdot \frac{v_R^2}{r}$ $N_R = - m \cdot g + m \cdot \frac{v_R^2}{r}$	$F_T = m \cdot a_s$ $F_T = m \cdot \frac{v_T^2}{r}$ $N_T - m \cdot g = m \cdot \frac{v_T^2}{r}$ $N_T = m \cdot g + m \cdot \frac{v_T^2}{r}$
Untuk titik S	Untuk titik U:

<p>Diperoleh arah gaya gravitasi ke bawah dan arah gaya tekan keluar, sehingga dapat disimpulkan bahwa gaya sentripetal (F_s) bernilai negatif, sehingga untuk titik S akan jatuh.</p>	$F_U = m \cdot a_s$ $F_U = m \cdot \frac{v_U^2}{r}$ $N_U - m \cdot g \cos \alpha = m \cdot \frac{v_U^2}{r}$ $N_U = m \cdot g \cos \alpha + m \cdot \frac{v_U^2}{r}$
<p>Untuk titik V</p>	
$F_V = m \cdot a_s$ $N_V + m \cdot g \cos \alpha = m \cdot \frac{v_T^2}{r}$ $N_V = m \cdot \frac{v_T^2}{r} - m \cdot g \cos \alpha$	
<p>Benda bergerak berada di luar dinding lingkaran</p>	
<p>Untuk titik A</p>	<p>Untuk titik C</p>
$N_A = m \cdot g - m \cdot \frac{v^2}{r}$	$N_C = m \cdot g - m \cdot \frac{v^2}{r}$
<p>Untuk titik B</p>	<p>Untuk titik D</p>
$N_B = m \cdot g \cos \theta - m \cdot \frac{v^2}{r}$	$N_D = m \cdot g \cos \theta - m \cdot \frac{v^2}{r}$

Kasus yang berbeda pada saat benda bergerak di sebuah tikungan bundaran yang mendatar seperti ditunjukkan pada gambar 9.9:



Akibat karena ada gaya gesekan, maka berlaku F_s adalah:

$$F_s = m \cdot a_s$$

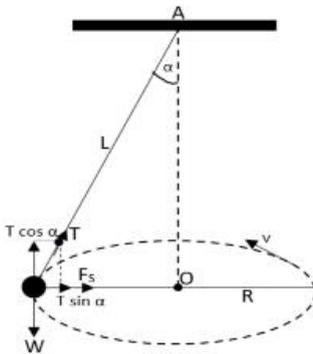
$$N \cdot \mu_k = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

dengan N adalah gaya normal yang besarnya adalah:

$$N = m \cdot g$$

Gambar 9.9: Kasus benda bergerak pada suatu tikungan bundaran yang mendatar

Jika suatu beban (benda) digantung dengan seutas tali pada ayunan bandul kemudian diputar secara mendatar (seperti ditunjukkan pada gambar 9.10) maka analisis periodenya adalah:



Perhatikan arah sumbu Y, yaitu:

$$W = T \cos \alpha$$

$$m \cdot g = T \cos \alpha$$

Sedangkan pada arah sumbu X, berlaku:

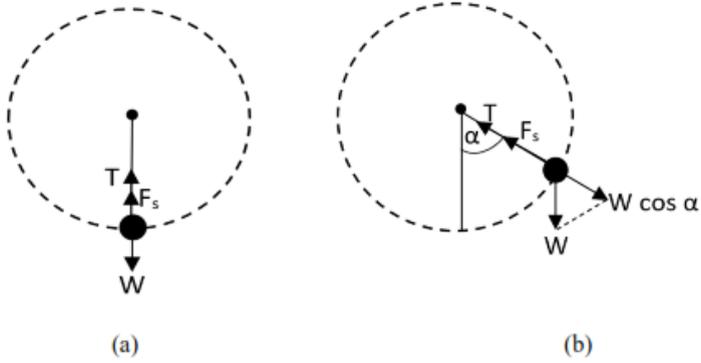
$$T \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Sehingga periodenya diperoleh sebesar:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$$

Gambar 9.10: Gerak benda dihubungkan dengan ayunan konis

Jika suatu beban (benda) diikat dengan seutas tali kemudian diputar secara vertikal (seperti ditunjukkan pada gambar 9.11) sebagai berikut:



Gambar 9.11: Benda yang diikat seutas tali kemudian diputar secara vertikal maka besar gaya normalnya diperoleh masing-masing yaitu:

$$(a) T = m \cdot g + m \frac{v^2}{R} \qquad (b) T = m \cdot g \cos \alpha + m \frac{v^2}{R}$$

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



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 Komputaa 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 Pelepah 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

GERAK MELENGKUNG

Sitti Nurrahmi

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

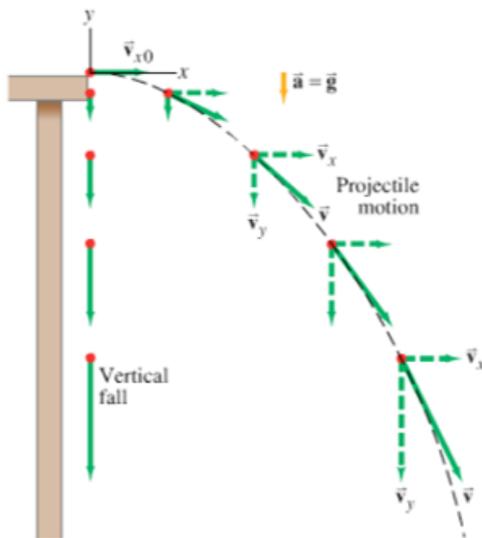
Gerak melengkung merupakan gerak suatu benda yang memiliki lintasan berupa garis lengkung. Ada dua (2) contoh gerak lengkung yang menarik untuk dibahas, yaitu gerak peluru atau gerak parabola dan gerak melingkar

Gerak Peluru

Gerak peluru atau gerak parabola adalah gabungan gerak horizontal (sumbu x) yang merupakan gerak lurus beraturan (GLB) dengan gerak vertikal (sumbu y) yang merupakan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) diperlambat yang dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi (Young & Geller, 2006). Gerak peluru memiliki lintasan lengkung berbentuk setengah lingkaran. Pada analisis gerak ini, dampak hambatan udara dapat diabaikan, meskipun hambatan udara ini sangat penting. Walaupun namanya gerak peluru, gerak tersebut tidak hanya membahas tentang gerak peluru saja. Setiap benda yang ditembakkan sembarang pada ketinggian tertentu atau dilempar ke atas dalam arah yang tidak vertikal melakukan gerak peluru.

Galileo merupakan orang pertama yang menjelaskan mengenai gerak peluru secara akurat (Tipler & Mosca, 2007). Ia mengatakan bahwa gerak ini dapat dipahami melalui analisis gerak secara terpisah pada komponen horizontal dan vertikal. Lebih tepatnya, kita dapat mengasumsikan gerak ini dimulai pada waktu $t = 0$, pada titik pusat sistem koordinat xy , sehingga $x_0 = y_0 = 0$.

Perhatikan bola kecil yang bergulir pada tepi meja horizontal dengan kecepatan awal pada arah horizontal (sumbu x), \vec{v}_{x0} seperti gambar 10.1. Menurut Galileo, sebuah benda yang dilepaskan pada arah horizontal, akan memiliki waktu yang sama untuk mencapai lantai dengan benda yang dijatuhkan secara vertikal. Vektor kecepatan \vec{v} pada masing-masing titik pada arah gerak bola selalu merupakan garis singgung jalur bola tersebut. Mengikuti ide Galileo, kita memisahkan komponen kecepatan \vec{v} pada arah horizontal dan vertikal, \vec{v}_x dan \vec{v}_y .

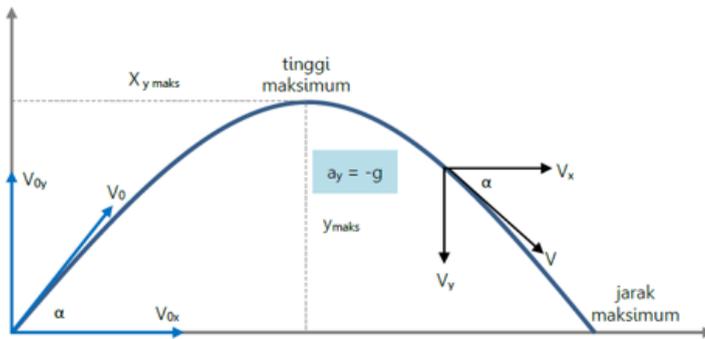


Gambar 10.1 Gerak peluru yang diproyeksi secara horizontal. Garis putus hitam melambangkan jalur jatuhnya objek (sumber: (Giancoli, 2009))

Sekarang mari membahas gerak peluru secara detail. Peluru yang ditembakkan dengan kecepatan awal, akan membentuk sudut elevasi tertentu (α) dengan sumbu datar seperti pada gambar 10.2. Peluru akan memiliki dua komponen kecepatan pada saat ditembakkan, yaitu komponen kecepatan secara horizontal (sumbu x) dan secara vertikal (sumbu y) sebagai berikut

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha \quad (10.1a)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha \quad (10.1b)$$



Gambar 10.2 Bentuk umum lintasan peluru yang ditembakkan dengan sudut α terhadap bidang datar (sumber: materi78.co.nr)

Gerak partikel sekarang dapat dianalisa sebagai gerak dengan kecepatan konstan pada arah horizontal (sumbu x) dan percepatan konstan pada arah vertikal (sumbu y). Posisi partikel pada arah x dan y diberikan oleh persamaan berikut

$$x(t) = v_{0x}t \quad (10.2a)$$

$$y(t) = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (10.2b)$$

Salah satu ciri khas gerak peluru adalah komponen kecepatan arah horizontal (sumbu x) selalu tetap selama peluru bergerak, karena tidak ada percepatan pada arah horizontal. Akan tetapi, komponen arah vertikal (sumbu y) selalu berubah-ubah disebabkan adanya percepatan gravitasi bumi. Sehingga, besar komponen kecepatan pada arah sumbu x (horizontal) dan sumbu y (vertikal) sebagai berikut

$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad (10.3a)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt \quad (10.3b)$$

Dari persamaan komponen kecepatan, dapat ditentukan besar sudut yang dibentuk oleh vektor kecepatan pada arah horizontal (gambar 10.3). Misal sudut tersebut adalah φ , maka

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= \frac{v_y}{v_x} \\ &= \frac{v_0 \sin \alpha - gt}{v_0 \cos \alpha} \end{aligned}$$

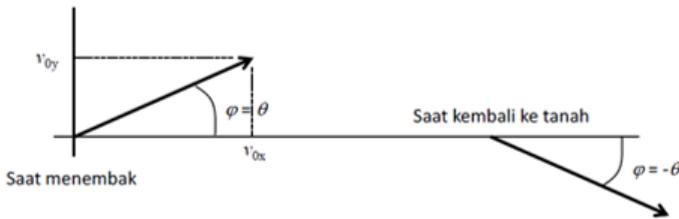
$$= \tan \alpha - \frac{gt}{v_0 \cos \alpha} \quad (10.4)$$

Berdasarkan persamaan 10.4 dapat disimpulkan bahwa pada puncak lintasan $\varphi = 0$ atau $\tan \varphi = 0$. Misal waktu yang diperlukan peluru sejak ditembakkan hingga mencapai puncak lintasan adalah t_m , maka berlaku

$$\tan \alpha - \frac{gt_m}{v_0 \cos \alpha} = 0$$

Sehingga diperoleh

$$t_m = \frac{v_0}{g} \sin \alpha \quad (10.5)$$



Gambar 10.3 Arah vektor kecepatan saat peluru ditembakkan dan saat kembali ke tanah (sumber: Abdullah, 2017)

Berdasarkan gambar 10.3 terlihat jelas bahwa pada saat peluru kembali menyentuh tanah, maka sudut yang dibentuk vector kecepatan memenuhi $\varphi = -\alpha$. Apabila waktu tempuh peluru dari puncak sampai menyentuh tanah adalah T , maka persamaan 10.4 dapat ditulis

$$\begin{aligned} \tan (-\alpha) &= \tan \alpha - \frac{gT}{v_0 \cos \alpha} \\ -\tan \alpha &= \tan \alpha - \frac{gT}{v_0 \cos \alpha} \end{aligned}$$

atau

$$T = \frac{2v_0}{g} \sin \alpha \quad (10.6)$$

Dari persamaan 10.6 tampak bahwa $T = 2t_m$ atau waktu yang diperlukan peluru dari puncak lintasan untuk sampai ke tanah adalah dua kali waktu peluru untuk mencapai puncak lintasan.

Dengan mensubstitusi variabel waktu t persamaan 10.2a ke dalam persamaan 10.2b, diperoleh

$$y(x) = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x - \frac{g}{2v_{0x}^2} x^2 \quad (10.7)$$

Titik tertinggi lintasan, yaitu posisi pada saat waktu t_m dapat diperoleh dengan mencari nilai ekstrim dari fungsi persamaan 10.7, yang tercapai ketika

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} - \frac{g}{v_{0x}^2} x$$

yaitu pada

$$\begin{aligned} x_m &= \frac{v_{0y}v_{0x}}{g} \\ &= \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g} \end{aligned} \quad (10.8a)$$

dan

$$y_m = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (10.8b)$$

Apabila posisi terjauh yang ditempuh peluru adalah R , maka posisi terjauh partikel dapat diperoleh dengan mencari akar persamaan 10.7, (menggunakan rumus abc)

$$R = \frac{v_{0y}v_{0x}}{g} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4v_{0y}^2v_{0x}^2}{g^2}} \quad (10.9)$$

terdapat dua nilai, dan dipilih yang tidak nol (karena $x = 0$ tidak lain adalah titik awal gerak partikel yang juga memiliki koordinat $y = 0$), jadi titik terjauh yang ditempuh adalah

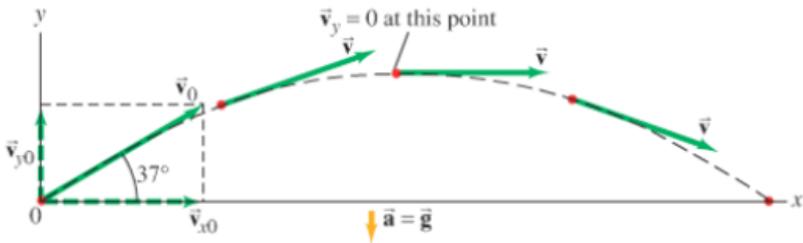
$$\begin{aligned} R &= \frac{2v_{0y}v_{0x}}{g} \\ &= \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \end{aligned} \quad (10.10)$$

Berdasarkan persamaan 10.10, apabila nilai maksimum $2\alpha = 1$, maka jarak tempuh maksimum akan dicapai jika $\sin 2\alpha = 1$. Sehingga, $2\alpha = 90^\circ$ atau $\alpha = 45^\circ$. Dengan sudut ini, maka jangkauan maksimum menjadi

$$R = \frac{v_0^2}{g} \quad (10.11)$$

Contoh

Lionel Messi menendang bola dengan sudut 37° dengan kecepatan 20 m/s seperti pada gambar 10.4. Hitung (a) tinggi maksimum, (b) waktu perjalanan sebelum bola menyentuh tanah, (c) seberapa jauh dari titik awal bola tersebut menyentuh tanah, (d) vektor kecepatan pada ketinggian maksimum, dan (e) vektor percepatan pada ketinggian maksimum. Anggap bola meninggalkan kaki pada ketinggian permukaan tanah.



Gambar 10.4 Contoh Soal (sumber: Giancoli, 2009)

Penyelesaian

Berdasarkan gambar 10.4, komponen-komponen kecepatan awal adalah

$$v_{0x} = v_0 \cos 37^\circ = (20 \text{ m/s}) (0,8) = 16 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin 37^\circ = (20 \text{ m/s}) (0,6) = 12 \text{ m/s}$$

(a) Pada ketinggian maksimum, kecepatannya adalah horizontal (gambar 10.4), sehingga $v_y = 0$; dan ini terjadi pada waktu

$$v_y = v_{0y} - gt ; v_y = 0, \text{ sehingga}$$

$$t = \frac{v_{0y}}{g} = (12 \text{ m/s}) / (9,8 \text{ m/s}^2) = 1,22 \text{ s}$$

Dari persamaan 10.2b diperoleh

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 = (12 \text{ m/s})(1,22 \text{ s}) - \frac{1}{2}(9,8 \text{ m/s}^2)(1,22 \text{ s})^2 = 7,35 \text{ m}$$

- (b) Untuk mencari waktu yang diperlukan bola untuk kembali ke tanah, gunakan kembali persamaan 10.2b, dengan $y = 0$ (permukaan tanah):

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = (12 \text{ m/s})t - \frac{1}{2}(9,8 \text{ m/s}^2)t^2$$

yang merupakan persamaan yang dapat difaktorkan dengan mudah:

$$[\frac{1}{2}(9,8 \text{ m/s}^2)t - 12 \text{ m/s}]t = 0$$

$$t = 0 \text{ dan } t = \frac{2(12 \text{ m/s})}{(9,8 \text{ m/s}^2)} = 2,45 \text{ s}$$

sehingga waktu perjalanan bola sebelum menyentuh tanah adalah 2,45 s

- (c) Jarak total yang ditempuh pada arah x diperoleh dengan menggunakan persamaan 10.2a

$$x = v_{0x}t = (16 \text{ m/s})(2,45 \text{ s}) = 39,2 \text{ m}$$

- (d) Pada titik tertinggi, tidak ada komponen vertikal dari kecepatan. Hanya ada komponen horisontal (yang tetap konstan selama bola tersebut melayang di udara), sehingga

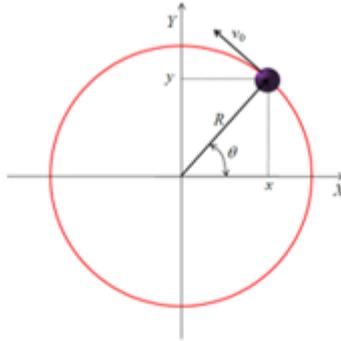
$$v = v_{0x} = v_0 \cos 37^\circ = 16 \text{ m/s}$$

- (e) Vektor percepatan adalah sama pada titik tertinggi maupun pada saat lainnya, yaitu $9,80 \text{ m/s}^2$ dengan arah ke bawah.

Gerak Melingkar

Jenis gerak lengkung lainnya yang menarik untuk dibahas yaitu gerak melingkar. Gerak melingkar secara sederhana didefinisikan sebagai gerak benda pada lintasan berupa keliling lingkaran, baik lingkaran penuh atau tidak penuh. Ciri khas gerak melingkar adalah jarak benda ke suatu titik acuan, yang merupakan titik pusat lingkaran selalu tetap. Sifat lain yang menonjol pada gerak melingkar adalah arah kecepatan

selalu menyinggung lintasan. Ini artinya pada gerak melingkar kecepatan selalu tegak lurus jari-jari lingkaran (M.Sc & M.Si, 2021).



Gambar 10.5 Lintasan benda yang melakukan gerak melingkar (sumber: Abdullah, 2017)

Berdasarkan gambar 10.5, koordinat posisi benda (x dan y) setiap saat, memenuhi

$$x = R \cos \theta \quad (10.12a)$$

$$y = R \sin \theta \quad (10.12b)$$

Dengan demikian posisi benda yang melingkar setiap saat adalah

$$\vec{r} = \hat{i} R \cos \theta + \hat{j} R \sin \theta \quad (10.13)$$

Dan panjang jari-jari lintasan

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (10.14)$$

Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut (ω) menyatakan perbandingan sudut yang ditempuh benda terhadap waktu perubahan tersebut (Taib, 2018). Kecepatan sudut dirumuskan

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (10.15)$$

dengan $\Delta \theta$ adalah sudut yang ditempuh benda (satuan radian) dalam selang waktu Δt (satuan sekon).

Kita dapat menghubungkan kecepatan sudut ω dengan frekuensi rotasi, f , dimana frekuensi merupakan jumlah putaran per sekon. Satu putaran berhubungan dengan sudut 2π radian, dengan demikian 1 putaran/sekon

sama dengan 2π rad/s. Sehingga, hubungan frekuensi dengan kecepatan sudut dapat diperoleh dengan cara

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

atau

$$\omega = 2\pi f \quad (10.16)$$

Waktu yang dibutuhkan untuk satu putaran lengkap disebut periode, T , dan berhubungan dengan periode dengan cara

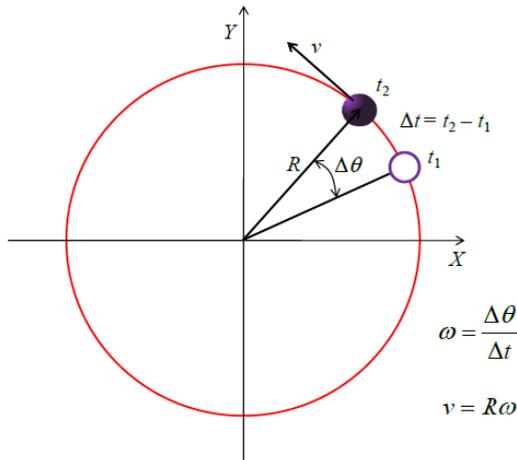
$$T = \frac{1}{f}$$

Kecepatan Linear

Berdasarkan gambar 10.6, jarak tempuh benda sepanjang keliling lingkaran selama selang waktu Δt adalah

$$\Delta s = R \Delta \theta \quad (10.17)$$

$\Delta \theta$ dinyatakan dalam radian.



Gambar 10.6 Hubungan antara kecepatan sudut dengan laju linear (besar kecepatan linear) (sumber: Abdullah, 2017)

Dengan demikian, laju linear benda adalah

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\begin{aligned}
&= R \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \\
&= R\omega \\
(10.18)
\end{aligned}$$

Sedangkan kecepatan benda adalah

$$\vec{v} = R\omega(-\hat{i} \sin \theta + \hat{j} \cos \theta) \quad (10.19)$$

Percepatan Sudut

Percepatan sudut (dengan mengambil selang waktu Δt menuju nol) didefinisikan sebagai (Siregar, 2018)

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (10.20)$$

Sedangkan percepatan tangensial didefinisikan sebagai

$$a_T = \frac{dv}{dt} \quad (10.21)$$

Jika persamaan 10.18 disubstitusi ke persamaan 10.21, maka

$$\begin{aligned}
a_T &= \frac{d(R\omega)}{dt} \\
&= R \frac{d\omega}{dt} \\
&= R\alpha \\
(10.22)
\end{aligned}$$

Vektor percepatan tangensial memiliki bentuk

$$\vec{a}_T = R\alpha(-\hat{i} \sin \theta + \hat{j} \cos \theta) \quad (10.23)$$

Di samping itu, untuk gerak melingkar apa pun selalu ada percepatan ke arah pusat. Percepatan tersebut dinamakan percepatan sentripetal. Besarnya percepatan sentripetal adalah

$$a_s = \frac{v^2}{R} \quad (10.24)$$

atau dapat ditulis

$$\begin{aligned}
a_s &= \frac{(R\omega)^2}{R} \\
&= R\omega^2 \\
(10.25)
\end{aligned}$$

Vektor percepatan sentripetal dapat ditulis

$$\vec{a}_s = -R\omega^2(\hat{i} \cos \theta + \hat{j} \sin \theta) \quad (10.26)$$

Vektor percepatan total benda yang bergerak melingkar menjadi

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \vec{a}_T + \vec{a}_s \\ &= R\alpha(-\hat{i} \sin \theta + \hat{j} \cos \theta) - R\omega^2(\hat{i} \cos \theta + \hat{j} \sin \theta) \\ &= -\hat{i}R(\alpha \sin \theta + \omega^2 \cos \theta) + \hat{j}R(\alpha \cos \theta - \omega^2 \sin \theta) \quad (10.27) \end{aligned}$$

Ada banyak contoh dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan gerak melingkar antara lain pedal gas dan rem kendaraan, satelit geostasioner, roda gigi, sabuk dan rantai, rotasi bumi pada lintang berbeda, pengaruh rotasi bumi pada arah angin, simpangan ke arah timur benda jatuh, dan lainnya.

Contoh

Piringan *hard disk* komputer berotasi pada 5400 rpm (putaran per menit). (a) berapa kecepatan sudut *disk*? (b) jika *head* pembaca pada *drive* ditempatkan 3 cm dari sumbu putar, berapa laju *disk* dibawahnya? (c) berapa percepatan linear titik ini? (d) jika satu bit membutuhkan panjang 5 μm sepanjang arah gerak, berapa bit per sekon dapat ditulis oleh *head* ketika berada 3 cm dari sumbu?

Penyelesaian

(a) Kecepatan sudut

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f = \left(2\pi \text{ rad/put}\right) \frac{(5400 \text{ put/menit})}{(60 \text{ s/menit})} \\ &= 570 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

(b) Laju titik yang terletak 3 cm di sebelah luar sumbu putar adalah

$$v = R\omega = (3 \times 10^{-2} \text{ m})(570 \text{ rad/s}) = 17 \text{ m/s}$$

(c) Percepatan linear memiliki dua komponen, tangensial dan radial (sentripetal). Karena $\omega = \text{konstan}$, maka $\alpha = 0$, sehingga $a_T = R\alpha = 0$. Percepatan radialnya adalah

$$a_s = R\omega^2 = (0,03 \text{ m}) (570 \text{ rad/s})^2 = 9700 \text{ m/s}^2$$

menuju sumbu

- (d) Setiap bit membutuhkan $5 \times 10^{-6} \text{ m}$, sehingga dengan laju 17 m/s , jumlah bit yang melewati *head* per sekon adalah

$$\frac{17 \text{ m/s}}{5 \times 10^{-6} \text{ m}} = 3,4 \times 10^6 \text{ bit per sekon.}$$

Daftar Pustaka

- Giancoli, D. C. (2009). *Physics: Principles with Applications*. Pearson Education Canada.
- M.Sc, Y. K. D., S. Pd, & M.Si, D. I. L. S. (2021). *Fisika Dasar Bagian Mekanika*. Media Sains Indonesia.
- Siregar, A. C. P. (2018). *Fisika Dasar Jilid 1: Mekanika Dasar*. CV. Kanaka Media.
- Taib, A. S. dan S. (2018). *Fisika Dasar 1*. 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. (2016). *Fisika Dasar I*. Institut Teknologi Bandung
- Satriawan, M. (2012). *Fisika Dasar*. Universitas Gadjah Mada
- Nurlina & Riskawati. *Fisika Dasar I*. Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar
- Banawi, Anasufi. (2013). *Fisika Dasar 1*. Dua satu press, Makassar.
- www.materi78.co.nr

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

GERAK MELINGKAR BERATURAN

Rochmat Hidayat

Bimbel Anak Pintar Harvest City, SMAIT Al Fityan Boarding School
Bogor, Primagama Metland Cileungsi

Kinematika – Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar adalah salah satu pokok bahasan dalam fisika yang termasuk ke dalam kajian kinematika. Hal tersebut dikarenakan gerak melingkar termasuk salah satu gerak yang tak memperhatikan penyebab mengapa benda itu bergerak seperti halnya gerak lurus dan gerak parabola.

Di antara sub-bab gerak melingkar terdapat bahasan yang lebih inti lagi yaitu gerak melingkar beraturan. Gerak melingkar beraturan adalah kondisi di mana benda bergerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap atau dapat dikatakan bahwa benda tidak mengalami percepatan sudut.

Dalam gerak melingkar beraturan kita akan mengenal beberapa besaran yang terlibat di dalamnya, seperti: periode, frekuensi, frekuensi sudut, kecepatan dan kelajuan sudut, kecepatan dan kelajuan tangensial, hubungan antara kelajuan tangensial dan kelajuan sudut, serta percepatan sentripetal.

Banyak benda-benda yang bergerak menggunakan konsep gerak melingkar beraturan, seperti: kipas angin, jam, komidi putar, piringan DVD, dan lain sebagainya.

Sebelum memulai bahasan tentang gerak melingkar beraturan ada baiknya kita mengenal dulu beberapa istilah yang sering ditemui dalam materi gerak melingkar beraturan.

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

$$60^\circ = \frac{60^\circ}{360^\circ} = \frac{1}{6} \text{ putaran} = \frac{1}{6} \cdot 2\pi \text{ rad} = \frac{1}{3} \pi \text{ rad}$$

$$\frac{1}{4} \text{ putaran} = \frac{1}{4} \cdot 2\pi \text{ rad} = \frac{1}{2} \pi \text{ rad}$$

$$\frac{1}{4} \text{ putaran} = \frac{1}{4} \cdot 360^\circ = 90^\circ$$

Periode dan Frekuensi

Periode adalah waktu yang dibutuhkan suatu benda untuk melakukan satu buah putaran, sedangkan frekuensi adalah banyaknya putaran yang terjadi dalam satu detik. Jika dirumuskan maka akan kita dapatkan:

$$T = \frac{t}{n} \rightarrow n = \frac{t}{T} \rightarrow t = nT$$

$$f = \frac{n}{t} \rightarrow t = \frac{n}{f} \rightarrow n = tf$$

Jika kita perhatikan rumus antara periode dan frekuensi saling berkebalikkan yang mana artinya jika kedua rumus digabungkan maka akan kita dapatkan rumus baru, yaitu:

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{1}{T} \rightarrow fT = 1$$

Keterangan:

T = Periode (s)

f = Frekuensi (Hz)

n = Banyak putaran

t = Waktu tempuh putaran (s)

Contoh soal

Sebuah benda melakukan 1200 putaran dalam waktu 2 menit, tentukan periode dan frekuensinya.

Diketahui

- $n = 1200$ putaran
- $t = 2 \text{ menit} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ s}$

ditanya

a. T

b. f

Jawab

$$T = \frac{t}{n} = \frac{120}{1200} = 0,1 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ Hz}$$

Kelajuan Sudut dan Kelajuan Tangensial

Ketika sebuah benda bergerak melingkar maka jari-jarinya akan membentuk sudut sebesar θ sedangkan panjang busur yang dilalui selama waktu tertentu disebut dengan kelajuan tangensial. Besar kelajuan tangensial dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$$

Sedangkan sudut yang dibentuk oleh jari-jari per satuan waktu dalam gerak melingkar disebut juga kelajuan sudut benda. Secara matematis kelajuan sudut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Hubungan antara kelajuan sudut dan kelajuan tangensial dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \omega r \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{v}{r} \quad \rightarrow \quad r = \frac{v}{\omega}$$

Keterangan:

v = Kelajuan sentripetal (m/s)

ω = Kelajuan sudut (rad/s)

r = Jari-jari lintasan (m)

s = Panjang busur lintasan (m)

θ = Sudut putar

Contoh soal

Sebuah piringan berjari-jari 20 cm berputar sebanyak 100 kali dalam waktu 5 detik. Tentukan besar kelajuan sudut dan kelajuan tangensialnya.

Diketahui

- $r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$
- $n = 100$
- $t = 5 \text{ s}$

Ditanya

- a. ω
- b. v

Jawab

a. $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{n}{t} = 2\pi \times \frac{100}{5} = 40\pi \text{ rad/s}$

b. $v = \omega r = 40\pi \times 0,2 = 40 \times 3,14 \times 0,2 = 25,12 \text{ m/s}$

Percepatan Sentripetal

Meskipun pada awal pembahasan dikatakan bahwa benda yang bergerak melingkar beraturan tidak mengalami sudut namun gerak seperti ini masih mengalami percepatan sesaat yaitu ketika periodenya mendekati nol yang menyebabkan arah putarnya akan menuju titik pusat. Percepatan yang arahnya menuju ke pusat lingkaran disebut percepatan sentripetal. Secara matematis percepatan sentripetal dapat ditulis:

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

Keterangan

a = Percepatan sentripetal (m/s^2)

Contoh soal

Sebuah mobil mainan melakukan gerakan berputar dengan jari-jari 10 cm selama 5 kali dalam waktu 20 detik. Percepatan sentripetal yang dialami mobil mainan tersebut adalah

Diketahui

- $n = 5$
- $t = 20 \text{ s}$
- $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

Ditanya

$a = \dots?$

Jawab

$$a = \omega^2 r = \left(2\pi \frac{n}{t}\right)^2 r = \left(2 \times 3,14 \times \frac{5}{20}\right)^2 \times 0,1$$

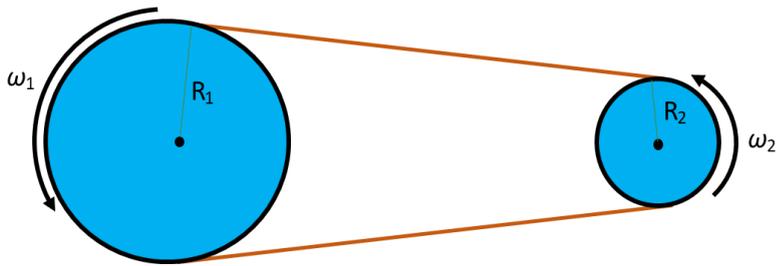
$$= 0,24649 \text{ m/s}^2$$

Hubungan Roda-roda

Dari sekian banyak benda yang bergerak menggunakan prinsip gerak melingkar beraturan kita dapat mempelajari pengimplementasian hal tersebut ke dalam hubungan roda-roda. Seperti yang kita ketahui bahwa mesin-mesin yang manusia gunakan saat ini banyak menggunakan roda-roda yang terhubung satu sama lain dan bekerja secara berkesinambungan sehingga bersinergi dan memberikan hasil yang diinginkan oleh pengguna.

Dalam gerak melingkar beraturan setidaknya ada tiga jenis hubungan roda-roda yang bisa dipelajari.

- a. Sistem tidak langsung yang terhubung dengan rantai atau *belt*

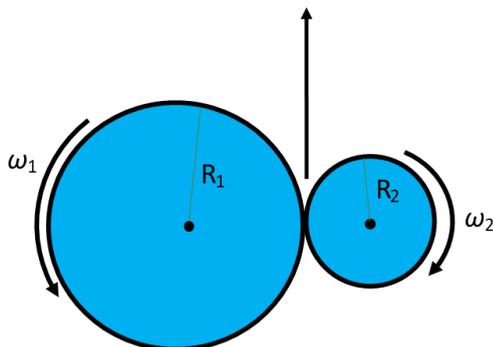


Umumnya kita dapat melihat sistem roda seperti ini pada rantai sepeda ataupun rantai sepeda motor dimana rantai menghubungkan roda gigi yang terpusat di poros roda belakang dengan roda gigi yang terhubung pada kayuh sepeda. Pada sistem seperti ini arah putar roda adalah searah sehingga kecepatan linier yang dihasilkan pada roda besar akan sama dengan roda kecil. Secara matematis hal ini dapat dituliskan menjadi:

$$v_1 = v_2$$

$$R_1\omega_1 = R_2\omega_2$$

- b. Sistem langsung yang dipasang secara bersinggungan



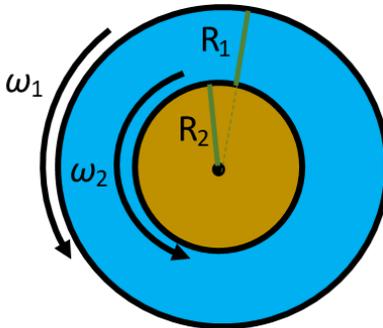
Roda-roda yang dipasang secara bersinggungan akan bergerak ke arah berlawanan. Jika roda yang satu berputar searah dengan jarum jam maka roda yang lainnya akan berputar berlawanan

arah dengan arah jarum jam. Namun meskipun arah putarannya berbeda, roda-roda yang dihubungkan secara bersinggungan akan memiliki kecepatan linier yang sama sehingga dapat dirumuskan menjadi:

$$v_1 = v_2$$

$$R_1\omega_1 = R_2\omega_2$$

- c. Sistem langsung yang dipasang secara sepusat



Sistem roda yang dipasang secara sepusat merupakan dua buah roda yang disambungkan melalui porosnya secara bersamaan. Sistem roda seperti ini akan menghasilkan kelajuan sudut yang sama besar pada kedua roda karena roda berputar secara bersamaan melalui poros yang sama. Kita dapat melihat sistem pemasangan seperti ini pada roda-roda gigi pada mesin elektronik maupun mesin otomotif, bahkan roda belakang truk tronton ataupun truk trailer yang dipasang ganda juga mengadopsi sistem pemasangan sepusat ini.

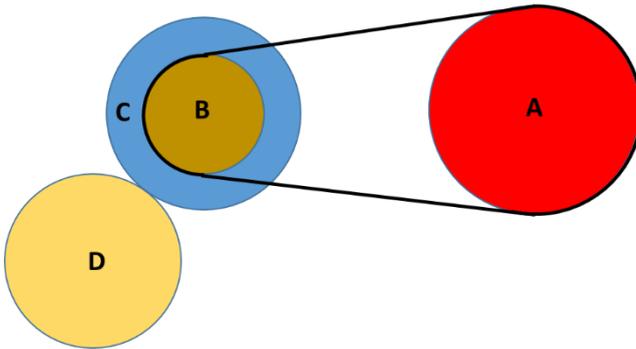
Secara matematis sistem pemasangan roda sepusat dapat dirumuskan:

$$\omega_1 = \omega_2$$

$$\frac{v_1}{R_1} = \frac{v_2}{R_2}$$

Contoh soal

Perhatikan gambar berikut



Pada gambar terdapat empat buah roda A berjari-jari 20 cm, B berjari-jari 10 cm, C berjari-jari 16 cm, dan D berjari-jari 15 cm yang mana roda A dan roda B terhubung oleh rantai, roda B dan roda C terhubung secara sepusat, sedangkan roda C dan roda D terhubung secara bersinggungan. Jika kelajuan sudut roda A adalah 48 rad/s, maka kelajuan sudut dan kelajuan linier roda D adalah ...

Diketahui

- $R_A = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$
- $R_B = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$
- $R_C = 16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$
- $R_D = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$
- $\omega_A = 48 \text{ rad/s}$

Ditanya

- a. ω_D
- b. v_D

Jawab

- Roda A dan roda B terhubung rantai

$$R_A \omega_A = R_B \omega_B$$

$$0,2 \times 48 = 0,1 \times \omega_B$$

$$\omega_B = \frac{9,6}{0,1} = 96 \text{ rad/s}$$

- Roda B dan roda C terpasang sepusat

$$\omega_B = \omega_C$$

$$\omega_C = 96 \text{ rad/s}$$

- Roda C dan roda D terpasang secara bersinggungan

$$R_C \omega_C = R_D \omega_D$$

$$0,16 \times 96 = 0,15 \times \omega_D$$

$$\omega_D = \frac{15,36}{0,15} = 102,4 \text{ rad/s}$$

$$v_D = R_D \omega_D$$

$$v_D = 0,15 \times 102,4$$

$$v_D = 15,36 \text{ m/s}$$

Gaya dalam Gerak Melingkar Beraturan

Ada beberapa gaya yang mungkin terjadi pada gerak melingkar beraturan, misalnya: tegangan tali, gaya pegas, gaya sentripetal dan gaya gravitasi. Gaya tegangan tali dapat terjadi ketika kita memutarakan sebuah benda yang diikat pada seutas tali yang mana jika putaran dilakukan secara vertikal maka besar tegangan tali akan berbeda pada saat benda berada di atas dan di bawah. Sementara gaya sentripetal adalah resultan dari beberapa gaya yang bekerja pada benda yang

bergerak melingkar beraturan dengan arah menuju ke pusat lingkaran. Gaya sentripetal pula yang menyebabkan seseorang pengendara motor tidak jatuh ketika memiringkan kendaraannya saat melewati tikungan.

Dalam gerak melingkar beraturan, gaya sentripetal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = ma$$
$$F = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$$

Keterangan

F = Gaya sentripetal (N)

Contoh soal

Sebuah benda yang massanya 5 kg bergerak berputar sejauh $\frac{3}{4}$ putaran dengan jari-jari 20 meter dalam waktu 4 detik. Besar gaya sentripetal yang ditimbulkan pada kejadian tersebut adalah ...

Diket

- $m = 5$ kg
- $n = \frac{3}{4} = 0,75$ putaran
- $R = 20$ m
- $t = 4$ s

Ditanya

$F = \dots?$

Jawab

$$F = m\omega^2 R$$

$$F = mR \left(2\pi \frac{n}{t} \right)^2$$

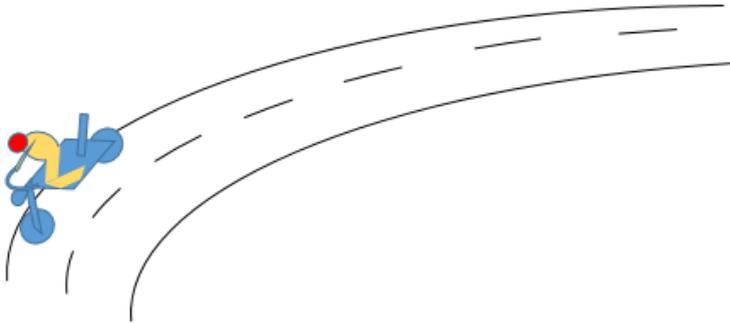
$$F = 5 \times 20 \times \left(2 \times 3,14 \times \frac{0,75}{4} \right)^2$$

$$F = 100(1,38650625)$$

$$F = 138,650625 \text{ N}$$

Gerak Melingkar pada Tikungan

Tikungan



Seperti yang disinggung sedikit pada bahasan sebelumnya bahwa gerak melingkar dapat terjadi pada sebuah tikungan karena pada dasarnya ketika sebuah benda bergerak menikung benda tersebut sama dengan melakukan gerakan melingkar pada panjang busur tertentu, sudut tertentu, dan jari-jari tertentu pula. Karakteristik tikungan pun bermacam-macam. Ada tikungan yang datar dan licin, tikungan yang datar dan kasar, tikungan yang miring dan licin, dan tikungan yang miring dan kasar. Dari beberapa karakteristik tersebut maka sangat perlu kita memahami perlakuan yang harus kita lakukan ketika melewati tikungan-tikungan tersebut agar terhindar dari bahaya.

- Tikungan datar dan kasar

Supaya kendaraan tidak mengalami slip saat melewati tikungan datar dan kasar maka kelajuan mobil tidak boleh menghasilkan gaya sentripetal yang lebih besar dari gaya gesek maksimum. Secara matematis hal tersebut dapat dirumus dengan:

$$v_{maks} = \sqrt{\mu g R}$$

- Tikungan miring dan licin

$$v_{maks} = \sqrt{gR \tan \theta}$$

- Tikungan miring dan kasar

$$v_{maks} = \sqrt{gR \left(\frac{\mu + \tan \theta}{1 - \mu \tan \theta} \right)}$$

$$v_{min} = \sqrt{gR \left(\frac{\tan \theta - \mu}{1 + \mu \tan \theta} \right)}$$

Keterangan

μ = koefisien gesek

Contoh soal

Sebuah mobil melintasi tikungan dengan kemiringan 37° dengan jari-jari sebesar 30 m. Jika koefisien gesek yang dimiliki jalan adalah 0,2 maka kecepatan maksimum yang diperbolehkan agar mobil tidak slip atau tergelincir adalah

Diket

- $\theta = 37^\circ$
- $R = 30$ m
- $\mu = 0,2$

Ditanya

$$v_{maks} = \dots???$$

Jawab

$$v_{maks} = \sqrt{gR \left(\frac{\mu + \tan \theta}{1 - \mu \tan \theta} \right)}$$

$$v_{maks} = \sqrt{10 \times 30 \left(\frac{0,2 + \tan 37^\circ}{1 - 0,2 \times \tan 37^\circ} \right)}$$

$$v_{maks} = \sqrt{300 \left(\frac{0,2 + 0,75}{1 - 0,2 \times 0,75} \right)}$$

$$v_{maks} = \sqrt{300 \left(\frac{0,95}{1 - 0,15} \right)}$$

$$v_{maks} = \sqrt{300 \left(\frac{0,95}{0,85} \right)}$$

$$v_{maks} = \sqrt{300(1,118)}$$

$$v_{maks} = \sqrt{335,4}$$

$$v_{maks} = 18,3 \text{ m/s}$$

Latihan

- Sebuah benda berputar sebanyak 60 kali dalam waktu 2 menit. Periode dan frekuensi dari benda tersebut berturut-turut adalah
 - 3 s dan 1/30 Hz
 - 2 s dan 1/30 Hz
 - 2 s dan 0,5 Hz
 - 0,5 s dan 2 Hz
 - 0,5 s dan 30 Hz
- Besar frekuensi dari sebuah benda bergerak dengan kelajuan sudut sebesar 4π rad/s adalah ...
 - 0,5 Hz
 - 1 Hz
 - 2 Hz
 - 2,5 Hz
 - 4 Hz

3. Sebuah benda melakukan 300 putaran selama 1 menit dengan jari-jari sebesar 20 cm dari titik acuan. Besar kecepatan linier yang dialami benda tersebut adalah ...
- a. 1,57 /s
 - b. 3,14 m/s
 - c. 6,28 m/s
 - d. 12,56 m/s
 - e. 18,84 m/s
4. Sebuah pesawat tempur melakukan manuver sebanyak 5 kali putaran dalam waktu 4 detik dengan jari-jari sebesar 50 meter. Percepatan sentripetal yang dialami pesawat tersebut adalah ...
- a. 3081,125 m/s²
 - b. 3082,125 m/s²
 - c. 3083,125 m/s²
 - d. 3084,125 m/s²
 - e. 3085,125 m/s²
5. Sebuah mobil melalui jalan menikung dengan jari-jari 30 m dengan kemiringan sebesar 53°. Jika terdapat koefisien gesek sebesar 0,2 maka kecepatan maksimum yang diperbolehkan agar mobil tidak tergelincir adalah ...
- a. 25,04 m/s
 - b. 26,04 m/s
 - c. 27,04 m/s
 - d. 28,04 m/s
 - e. 29,04 m/s

Daftar Pustaka

Fieska Cahyani dan Yandri Santoso (2019). *FISIKA untuk SMA Kelas X Program Peminatan dan Ilmu Alam*. Jakarta: Quadra.

Profil Penulis



Rochmat Hidayat, S.Pd

Memiliki ketertarikan yang besar pada matematika dan fisika. Hal tersebut diperkuat dengan sekolah SMK jurusan Listrik Instalasi di SMKN 34 atau STMN 6 Kramat Raya, Jakarta Pusat, dan lulus pada tahun 1999. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Universitas Indraprasta jurusan S1 Pendidikan Matematika tahun 2021.

Penulis sempat bekerja sebagai operator welding di PT. Toyota Astra Motor pada tahun 2000 dan staff R&D di PT. LG Electronics Indonesia pada tahun 2001 sampai 2015 dan sempat menjalani pendidikan Production Request Manajement Sistem (PRMS) dan Bill of Material (BOM) Sistem di Pyung Taek, Korea Selatan pada tahun 2007 dan 2010.

Penulis sangat menyukai belajar terutama di bidang matematika dan sains dan sampai saat ini berkarir di bidang pendidikan dimulai sejak tahun 2012 dengan mengajar di Bimbel Anak Pintar Harvest City, SMAS PGRI Tambun Selatan, SMPIT Al Fityan Boarding School Bogor, SMAIT Al Fityan Boarding School Bogor, dan Primagama Metland Cileungsi dan Villa Nusa Indah sebagai pengajar UTBK matematika dan fisika.

Email Penulis: r.hidayat191081@gmail.com

GERAK MELINGKAR BERUBAH BERATURAN

Jusman

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Pada gerak melingkar beraturan (GMB) walaupun ada percepatan sentripetal, kecepatan linear tidak berubah karena percepatan sentripetal tidak berfungsi untuk mengubah kecepatan linear tetapi untuk mengubah arah gerak vertikal sehingga lintasannya berbentuk lingkaran. Pada gerak melingkar berubah beraturan, kecepataannya dapat berubah-ubah secara beraturan. Karena gerak ini menunjukkan adanya besaran yang berfungsi untuk mengubah kecepatan. Besaran tersebut adalah percepatan tangensial (A_t) yang arahnya rapat sama atau berlawanan dengan arah kecepatan linear. Kecepatan transmisi didapat dari percepatan sudut (α) dikalikan dengan jari-jari (r) yang dapat dituliskan dengan rumus:

$$a_t = \alpha \cdot r$$

Keterangan:

a_t = percepatan tangensial (m/s^2)

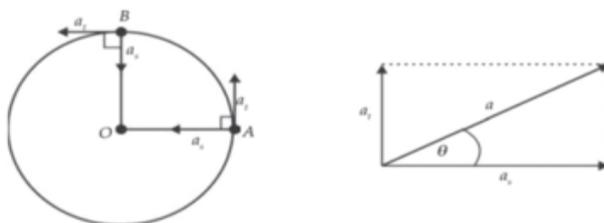
α = percepatan sudut (rad/s^2)

r = jari-jari lingkaran

Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB) adalah gerak benda yang mengalami percepatan sentripetal dan percepatan tangensial. Percepatan tangensial adalah percepatan yang arahnya selalu paralel dengan vektor kecepatan linier yang muncul akibat perubahan besar kecepatan linier, sedangkan kecepatan sentripetal adalah percepatan

yang arahnya selalu menuju pusat lingkaran yang muncul akibat perubahan arah kecepatan linear. Dapat juga diartikan bahwa Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB) adalah gerak dengan lintasan berbentuk lingkaran dengan percepatan sudut tetap, tetapi tidak nol. Akibatnya benda mengalami percepatan tangensial yang besarnya dinyatakan dengan. Ektor percepatan tangensial searah dengan vektor kecepatan linear v atau arahnya bisa berlawanan. GMBB bisa diperlambat dan dipercepat. Diperlambat jika nilai percepatan sudutnya negatif dan dipercepat jika nilai percepatan sudutnya positif.

Pada GMBB benda mengalami dua macam percepatan dimana yang pertama percepatan sentripetal (a_s) dan percepatan tangensi (a_t). Di mana percepatan sentripetal adalah selalu menuju ke pusat lingkaran sedangkan percepatan tangensial adalah selalu menyinggung lingkaran. Percepatan total dalam GMBB adalah jumlah vektor dari kedua percepatan dan dapat dilihat pada gambar 1 dibawah:



Gambar 12.1: GMBB benda mengalami percepatan sentripetal dan percepatan tangensial

Berdasarkan gambar di atas dapat kita ketahui bahwa percepatan sentripetal dan percepatan tangensial saling tegak lurus. Oleh karena itu percepatan totalnya yaitu:

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_s^2}$$

Sedangkan arah percepatan total terhadap arah radial, yaitu (θ) dapat dihitung dengan perbandingan tangen.

$$\tan \theta = \frac{a_t}{a_s}$$

Pada akhirnya melingkar beberapa aturan kita dapat amati sebuah pentil pada roda sepeda misalnya pintu sepeda Adi sedang berputar

mulai dari 10 putaran per menit menjadi 1000 putaran per menit artinya mentul roda tersebut mengalami perubahan kecepatan sudut (ω). Besarnya perumahan kecepatan sudut pada setiap titik adalah tetap sama dengan gerak lurus berubah beraturan, percepatan didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan kecepatan dan selang waktu terjadinya perubahan.

$$\text{Percepatan} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{selang waktu}}$$

Dalam gerak melingkar merupakan peraturan, percepatan sudutnya adalah konstan dan dapat ditulis dengan rumus:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \text{ atau } \alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{t - t_0}$$

Dapat diketahui bahwa $\Delta\omega = \omega_t - \omega_0$ dan $t = t - t_0 = t$

Maka persamaannya menjadi

$$\alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{t}$$

atau dapat ditulis

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

Perpindahan yang dilakukan partikel yaitu $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ dalam selang Δt . Berarti, besar kecepatan suatu rata-rata adalah $\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$. Kecepatan rata-rata dapat didefinisikan sebagai nilai tengah dari kecepatan awal dan kecepatan akhir. Dengan demikian, persamaan $\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ dapat ditulis dengan rumus:

$$\frac{1}{2}(\omega_0 + \omega) = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Atau apa ditulis juga ada dalam rumus:

$$\Delta\theta = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)\Delta t$$

Dengan memasukkan persamaan $\omega = \omega_0 + \alpha t$ akan diperoleh rumus:

$$2\Delta\theta = \omega_0 t + (\omega_0 + \alpha t)t$$

$$2\Delta\theta = 2\omega_0 t + at^2$$

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

Dengan demikian, persamaan di atas akan menjadi:

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

$$\theta = \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

Keterangan:

θ = besar sudut yang ditempuh (rad)

ω_0 = kecepatan sudut awal (rad/s²)

α = percepatan sudut (rad/s²)

t = waktu (s)

Jika kita perhatikan lurus berubah beraturan ternyata memiliki kesamaan antara hubungan matematis dengan gerak melingkar berubah beraturan. Oleh karena itu, kita dapat menyelesaikan persoalan yang menyangkut kecepatan sudut, percepatan sudut, yang besar sudut yang ditempuh dengan persoalan yang sama dengan gerak lurus beraturan.

Tabel 12.1: Perbandingan gerak melingkar berupa beraturan dengan gerak lurus berubah beraturan

Gerak Translasi Berubah Beraturan (Percepatan Konstan)	Gerak Translasi Berubah Beraturan (Percepatan Konstan)
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + at$
$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$	$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} at^2$
$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2a(\theta - \theta_0)$

Pada saat kita menyalakan kipas perputarannya akan semakin cepat dan pada saat dimatikan perputaran kipas akan semakin. Dapat dilihat pada gambar 12.1,12.2. jika penambahan atau pengurangan kecepatan adalah

konstan maka dapat dikatakan kipas bergerak melingkar berubah beraturan. Jadi, gerak melingkar berubah beraturan adalah gerak melingkar dengan percepatan sudut konstan. Pada gerak lurus, kita telah memperoleh bahwa jenis gerak yang paling sederhana adalah gerak dengan percepatan a sama dengan 0 yaitu tidak ada penambahan kecepatan. Jenis gerak berikutnya adalah gerak satelit di mana gerak satelit adalah gerak dengan a konstan atau tetap. Untuk bentuk gerak ini kita telah menemukan hubungan antara variabel s , v , a , dan t .

Pada jarak rotasi benda yang mengelilingi sumbu tetap, jenis gerak yang paling sederhana adalah gerak dengan percepatan sudut $\alpha = 0$, yang berupa gerak melingkar peraturan. Gerak rotasi berikutnya adalah $\alpha = \text{konstan}$ (selain dari nol).

Berdasarkan kesepadanan antara gerak translasi lurus dengan garis rotasi inilah tidak dapat memperoleh persamaan gerak untuk rotasi yang sama dengan gerak lurus.

Kecepatan Tangensial dan Percepatan Tangensial

Sudah kita ketahui bahwa paragraf melingkar beraturan dan kecepatan tangensial dan kecepatan sudut dengan hubungan $\vec{v} = \vec{\omega}R$ pada gerak melingkar berubah beraturan arah percepatan yang menuju ke pusat, yaitu percepatan radian atau sentripetal $a_R = v^2/R$ dan percepatan yang menurut garis singgung disebut percepatan tangensial, $a_t = a \cdot R$, dapat kita lihat pada gambar 1.2, di mana $a_t =$ percepatan tangensial (ms^{-2}) dan besarnya percepatan total a , $a = \sqrt{a_R^2 + a_t^2}$. Pada gerak melingkar berubah beraturan tidak mempunyai percepatan Tangensial.

Contoh Soal

1. Seorang anak mengendarai sepeda dengan jari-jari roda 0,2 m dengan kecepatan 18 km/jam. Pada saat direm sepeda berhenti 10 sekon kemudian.
 - a. Hitung kecepatan linear roda sepeda!
 - b. Hitung kecepatan sudut roda!
 - c. Hitung perlambatan roda!

d. Berapa kali roda berputar saat direm sampai berhenti?

Penyelesaian:

Diketahui:

$$v = 18 \text{ km/jam}$$

$$R = 0,2 \text{ m}$$

$$t = 10 \text{ sekon}$$

Ditanya:

$$v = \dots ?$$

$$\omega = \dots ?$$

$$\alpha = \dots ?$$

Roda berputar....kali

Jawab:

$$\text{a. } v = \frac{18 \text{ km}}{\text{jam}}$$

$$= \left(\frac{18.000}{3600} \right) ms^{-1}$$

$$= 5 ms^{-1}$$

$$\text{b. } \omega_0 = \frac{v}{R}$$

$$= \left(\frac{5}{0,2} \right) rad s^{-1}$$

$$= 25 rad s^{-1}$$

$$\text{c. } \omega = \omega_0 + at$$

$$0 = 25 + a10$$

$$a = -2,5 rad s^{-1}$$

$$\text{d. } \theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$= \left(2,5 \times 10 - \frac{1}{2} at^2 \times 10^2 \right) rad$$

$$= 125 rad$$

$$\text{roda berputar} = \frac{125}{2\pi}$$

$$= \frac{6,25}{\pi} \text{ kali}$$

2. Sebuah benda gerinda berputar dengan kecepatan sudut 180 rad/s. Tiba-tiba motor yang memutar dipadamkan sehingga gerinda mengalami perlambatan sebesar 20 rad/s². Setelah motor dipadamkan, berapa lam lagi gerinda akan berputar hingga berhenti dan berapa putaran yang dilakukan?

Penyelesaian:

$$\omega_0 = 180 \text{ rad/s};$$

$$\alpha = -20 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$0 = 180 + (-20) t$$

$$t = 9 \text{ s}$$

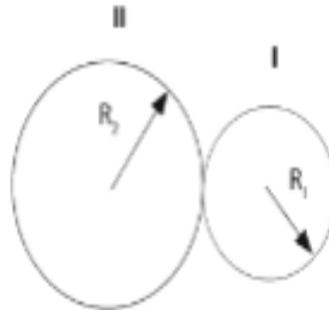
Untuk menentukan banyak putaran (n), maka hitung terlebih dahulu sudut tempuh θ

$$\begin{aligned}\theta &= \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \\ &= (180) (9) + \left(\frac{1}{2}\right) (-20) (9)^2 \\ &= 810 \text{ rad}\end{aligned}$$

Untuk tiap putaran, sudut yang ditempuh = 6,28 rad.

Jadi, banyaknya putaran (n) = 128,98 kali.

3. Dua buah benda dihubungkan seperti pada gambar!



Masing-masing dengan jari-jari 8 cm dan 12 cm. Jika roda I berputar 6 putaran tiap sekon, maka frekuensi pada roda II adalah...

Jawab:

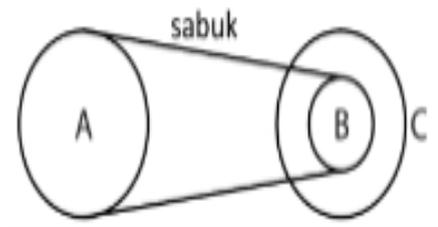
$$\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2$$

$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2$$

$$6 \times 8 = \omega_2 \cdot 12$$

$$\omega_2 = 4 \text{ putaran/sekon}$$

4. Sistem roda-roda di atas menunjukkan roda B dan roda C sepusat, roda B dan roda A dihubungkan dengan tali. Roda A, B dan C memiliki jari-jari masing-masing 30 cm, 15 cm dan 40 cm. Apabila roda A diputar dengan kecepatan sudut 15 rad/s, maka kecepatan linier roda C adalah...



Jawab:

Pada hubungan roda A dan B

$$v_B = v_A$$

$$\omega_B \cdot r_B = \omega_A \cdot r_A$$

$$\omega_B \cdot 15 = 15 \cdot 30$$

$$\omega_B = 30 \text{ m/s}$$

Pada hubungan roda B dan C

$$\omega_C = \omega_B$$

$$\frac{v_C}{r_C} = \omega_B$$

$$v_C = \omega_B \cdot r_C$$

$$= 30 \cdot 0,4 = 12 \text{ m/s}$$

Aplikasi Gerak Melingkar

1. Gerak Melingkar pada Bidang Vertikal

Perhatikan gambar 2 pada kereta luncur, usaha yang diberikan terhadap kereta lucu dari mesin. Energi kinetik sebelum lintasan melingkar harus menghasilkan kecepatan minimum yang dapat menahan penumpang sehingga tidak jatuh ketika kereta barang di atas lintasan.



Gambar 2. kora-kora

Berbeda dengan kincir raksasa, kora-kora tidak melakukan gerak satu lingkaran penuh tetapi gerak melingkar maksimumnya hanya setengah lingkaran kemudian bolak-balik seperti sebuah bandul. Di lintasan terbawahnya terdapat suatu ban yang mendorong kora-kora agar dapat selalu berayun dengan sempurna.

2. Gerak Melingkar pada Arah Horizontal

Perhatikan gambar 2 di atas. Jika anda sedang menunggangi permainan ini, anda akan merasakan seolah-olah sedang bergerak dipercepat meninggalkan poros putaran.

Untuk menyederhanakan persoalan, misalnya ontang-anting tersebut sedang bergerak berlawanan arah jarum jam pada kelajuan linear sesaat yang tetap, seperti diperhatikan gambar di atas. Ara yang sedang menaiki ontang-anting menghadap ke arah lintasan melingkar, kecepatan sesaat pada titik itu adalah menyinggung lingkaran. Jika tidak ada yang menarik Ara (tali) Ara akan bergerak terbang meninggalkan lintasan ontang-anting sebenarnya anda sedang bergerak dipercepat menuju ke arah pusat lingkaran.

Daftar Pustaka

- David Halliday, 2010. *Fisika Dasar Edisi Ketujuh Jilid 1*, Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, Douglas 2001 *Fisika Untuk Ilmu Pengetahuan dan Teknik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Handayani, Sri. & Ari, Damari. (2009). *Fisika untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Pusat pembukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Intrajid, Dudi. (2009). *Mudah dan Katif Belajar Fisika untuk Kelas X SMA/MA Program Ilmu Pengetahuan Alam*. Jakarta: Pusat pembukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Nuracmandani, Setya. (2009). *Fisika 1 untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Pusat pembukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Paul A. Tipler, 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*, (Jakarta: Erlangga
- Serway, A dan Jewett, W. 2004. *Fisika Untuk Ilmu Pengetahuan dan Teknik Jilid 1*: Jakarta
- Sumarsono, Joko. (2009). *Fisika untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Pusat pembukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Suparmo. & Tri, Widodo. (2009). *Panduan Pembelajaran Fisika X*. Jakarta: Pusat pembukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Widodo, Tri. (2009). *Fisika Untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Pusat pembukuan, Departemen Pendidikan Nasional.

Profil Penulis



Jusman, S.Pd., M.Pd

Penulis lahir di sebuah desa tepatnya di Bontomangiring 15 Mei 1991. Penulis menyelesaikan jenjang SD di SD 243 Elle'e. Lalu melanjutkan Pendidikan di SMPN 6 Bulukumpa. Pada tingkatan sekolah menengah pertama inilah cita-cita ingin menjadi pendidik pada bidang fisika pertama kali muncul. Ketertarikan pada bidang ini juga yang membuat penulis melanjutkan Pendidikan sekolah menengah di kabupaten tepatnya di SMAN 2 Bulukumpa dan menyelesaikan masa study di tahun 2009. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan Pendidikan di UIN Alauddin Makassar dengan jurusan yang sesuai dengan cita-cita penulis yang tertanam sejak menduduki bangku sekolah menengah pertama yaitu Jurusan Pendidikan Fisika. Jenjang S1 penulis selesaikan selama 4 tahun dan selesai ditahun 2013, lalu melanjutkan ke jenjang Pendidikan selanjutnya ditahun 2014 karena cita-cita mulai bergeser ingin menjadi dosen Pendidikan fisika. S2 penulis selesaikan selama 2 tahun di Universitas Negeri Makassar. Dalam dunia Pendidikan Penulis aktif mengajar di bimbingan belajar sejak mahasiswa sampai sekarang. Penulis mengajar fisika dibimbingan belajar JILC sekaligus sebagai Direktur cabang di JILC sejak tahun 2014 sampai sekarang. Tugas utama penulis saat ini yaitu tenaga fungsional dosen di Jurusan Pendidikan Fisika UIN Alauddin Makassar.

Jan Setiawan

Badan Riset dan Inovasi Nasional – Universitas Pamulang

Gerak Relatif dalam Satu Dimensi

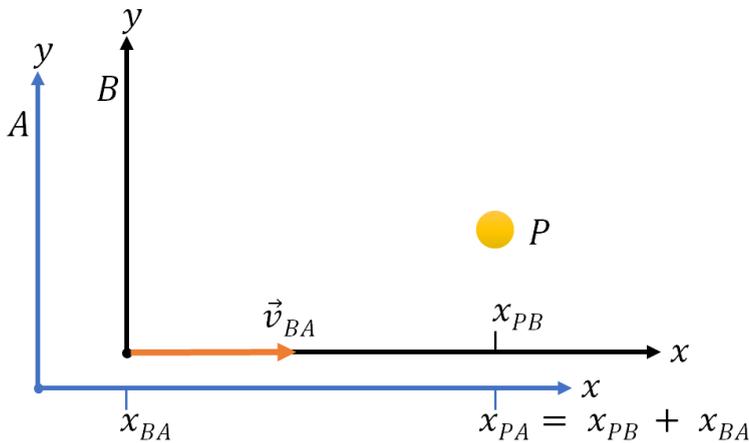
Gerak relatif merupakan pergerakan partikel/benda yang dipengaruhi oleh titik acuannya. Gerak ini diamati pada partikel/benda yang bergerak terhadap partikel/benda lainnya. Hal yang sangat penting dalam membahas gerak relatif mengenai kerangka acuan. Pada sebuah partikel/benda memiliki kecepatan tertentu, berarti kecepatan yang partikel/benda tersebut mengacu pada kerangka acuan tertentu. Dalam kehidupan sehari-hari apabila menyatakan kecepatan suatu benda yang bergerak, tanah atau bumi menjadi kerangka acuannya. Dengan kata lain gerak relatif dapat dikatakan sebagai pergerakan partikel/benda terhadap partikel/benda lain yang dalam keadaan diam atau bergerak (Griffith & Brosing, 2022; Halliday, Resnick, & Walker, 2018; Mazur, 2022). Pergerakan partikel/benda tersebut tidak menggunakan permukaan tanah atau bumi sebagai kerangka acuannya. Bahasan dalam bab ini adalah relativitas klasik dimana kelajuannya tidak lebih dari 1% kecepatan cahaya (Griffith & Brosing, 2022). Sebagai contoh, seseorang pengamat yang diam di tepi jalan dengan seseorang pengamat yang berjalan di tepi jalan akan melihat sebuah kendaraan yang melintas dengan kecepatan yang berbeda. Perhatikan Gambar 13.1 sebagai ilustrasi gerak relatif dalam satu dimensi.

Seseorang pengamat A yang diam di tepi jalan melihat kendaraan P yang melaju dengan kecepatan tertentu, dilihat juga oleh seseorang pengamat B yang berjalan di tepi jalan melihat kendaraan yang sama P

melaju dengan kecepatan tertentu. Perubahan posisi kendaraan P terhadap A dituliskan dengan

$$x_{PA} = x_{PB} + x_{BA} \quad 13.1$$

Persamaan 13.1 ini dapat diutarakan dengan “Posisi x_{PA} dari kendaraan P yang diukur dari pengamat A sebanding dengan posisi x_{PB} dari kendaraan P yang diukur dari pengamat B ditambah dengan posisi x_{BA} dari pengamat B yang diukur dari pengamat A.” Gerak yang diamati oleh A dan B pada kendaraan P berada pada kerangka waktu yang sama.



Gambar 13.1. Ilustrasi gerak relatif partikel P terhadap dua pengamat di kerangka acuan yang berbeda.

Dengan demikian kecepatan relatif dari Persamaan 13.1 ini dapat dituliskan dengan,

$$\frac{d}{dt}(x_{PA}) = \frac{d}{dt}(x_{PB}) + \frac{d}{dt}(x_{BA}) \quad 13.2$$

$$v_{PA} = v_{PB} + v_{BA} \quad 13.3$$

Persamaan 13.3 ini dapat diutarakan dengan “kecepatan v_{PA} dari kendaraan P yang diukur dari pengamat A sebanding dengan kecepatan v_{PB} dari kendaraan P yang diukur dari pengamat B ditambah dengan kecepatan v_{BA} dari pengamat B yang diukur dari pengamat A.” Kecepatan v_{BA} merupakan kecepatan dari kerangka acuan B terhadap kerangka acuan A. Apabila kendaraan P dipercepat, sedangkan

pengamat B berjalan dengan kecepatan tetap, percepatan kendaraan P dapat ditentukan dengan,

$$\frac{d}{dt}(v_{PA}) = \frac{d}{dt}(v_{PB}) + \frac{d}{dt}(v_{BA}) \quad 13.4$$

Dengan v_{BA} konstan, turunan pertamanya terhadap waktu akan bernilai nol, sehingga Persamaan 13.4 menjadi,

$$a_{PA} = a_{PB} \quad 13.5$$

Dengan demikian dapat dikatakan, pengamat di kerangka acuan tertentu yang bergerak dengan kecepatan konstan terhadap pengamat lain di kerangka acuan yang berbeda akan mengukur percepatan partikel/benda bergerak dengan nilai yang sama.

Contoh 1: Seorang pengamat A sedang diam di tepi jalan mengamati kendaraan P yang melaju dengan kecepatan 40 km/jam. Pengamat B berjalan dengan kecepatan 2 km/jam di tepi jalan juga mengamati kendaraan P tersebut. (a) Tentukan berapa kecepatan kendaraan P yang terlihat oleh pengamat B jika arah perjalanan kendaraan P searah dengan pengamat B dan bagaimana apabila berlawanan arah dengan pengamat B? (b) Apabila kendaraan P yang bergerak berlawanan arah dengan pengamat B, lalu mengurangi kecepatan dan berhenti di depan pengamat A dalam waktu 20 detik dengan percepatan konstan, tentukan percepatan terhadap pengamat A, dan (c) Berapa percepatan kendaraan P tersebut terhadap pengamat B.

Jawab: (a) Dari soal tersebut dapat dituliskan kecepatan kendaraan P dengan hubungan,

$$v_{PA} = v_{PB} + v_{BA}$$

$$v_{PA} = v_{PB} + 2$$

Untuk arah kendaraan P searah dengan pengamat B menjadi,

$$40 = v_{PB} + 2$$

$$v_{PB} = 40 - 2 = 38$$

sehingga $v_{PB} = 38$ km/jam. Sedangkan untuk arah kendaraan yang berlawanan arah dengan pengamat B menjadi,

$$-40 = v_{PB} + 2$$

$$v_{PB} = -40 - 2 = -42$$

sehingga $v_{PB} = -42$ km/jam.

(b) Kecepatan kendaraan P yang berlawanan arah dengan pengamat B menjadi $v_{PA} = -40$ km/jam ($= -11,11$ m/s). Berhenti di depan pengamat A ($v_{PA} = 0$) dalam kurun waktu 20 detik. Dengan demikian percepatan relatif terhadap pengamat A adalah,

$$a_{PA} = \frac{v_{PA,t} - v_{PA,0}}{t} = \frac{0 - (-11,11)}{2} = \frac{11,11}{2} = 5,56$$

dengan demikian $a_{PA} = 5,56$ m/s².

(c) Dari Persamaan 13.5, pengamat B akan melihat percepatan kendaraan P dengan nilai yang sama seperti yang diamati oleh pengamat A. Apabila dilakukan perhitungan yang perlu dipersiapkan adalah $v_{PB,t}$ kecepatan akhir kendaraan P terhadap pengamat B sebesar -2 km/jam ($= -0,56$ m/s) dan kecepatan awal kendaraan P terhadap pengamat B sebesar -42 km/jam ($= -11,67$ m/s). Dengan demikian perhitungan ditentukan sebagai berikut,

$$a_{PB} = \frac{v_{PB,t} - v_{PB,0}}{t} = \frac{-0,56 - (-11,67)}{2} = \frac{11,11}{2} = 5,56$$

terlihat nilai $a_{PB} = 5,56$ m/s².

Gerak Relatif dalam Dua Dimensi

Serupa dengan contoh pada gerak relatif satu dimensi, pengamat B bergerak relatif terhadap pengamat A pada saat melihat kendaraan P yang bergerak. Perbedaannya pergerakan yang terjadi pada dua dimensi (Griffith & Brosing, 2022; Halliday, Resnick, & Walker, 2018; Mazur, 2022). Sebagai ilustrasi dari gerak relatif dalam dua dimensi perhatikan Gambar 13.2

Apabila pengamat B bergerak dengan kecepatan konstan \vec{v}_{BA} terhadap pengamat A, vektor \vec{r}_{BA} adalah posisi pengamat B terhadap A. Posisi kendaraan P terhadap B diberikan oleh vektor posisi \vec{r}_{PB} . Sedangkan posisi kendaraan P terhadap A diberikan oleh vektor posisi \vec{r}_{PA} . Dengan

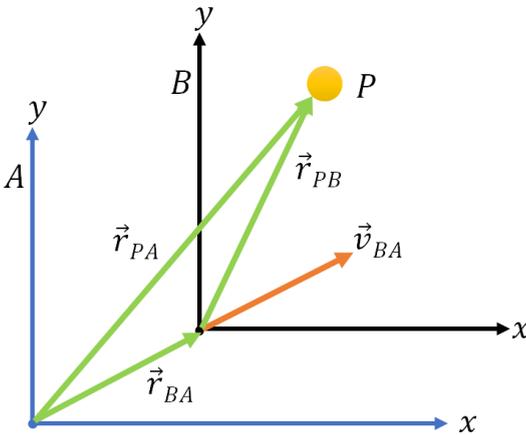
demikian hubungan ketiga vektor posisi tersebut dapat dituliskan dengan,

$$\vec{r}_{PA} = \vec{r}_{PB} + \vec{r}_{BA} \quad 13.6$$

Serupa dengan Persamaan 13.2 untuk memperoleh kecepatan dan persamaan untuk memperoleh percepatan dari kendaraan P, diperoleh kecepatan dan percepatan gerak relatif dua dimensi sebagai berikut,

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA} \quad 13.7$$

$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} \quad 13.8$$

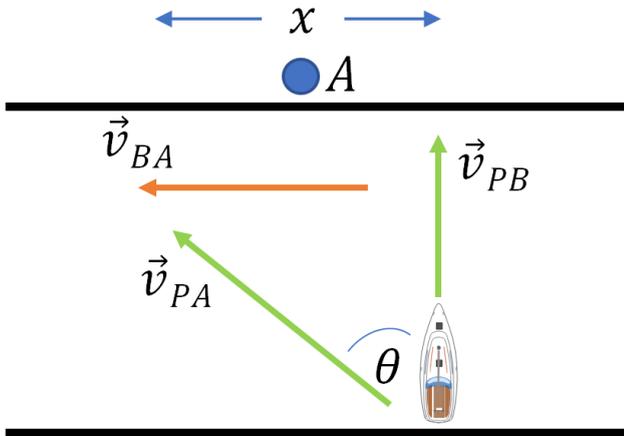


Gambar 13.2. Ilustrasi gerak relatif dalam dua dimensi partikel P terhadap dua pengamat di kerangka acuan yang berbeda.

Contoh 2: Sebuah perahu dengan kecepatan 10 m/s melintasi sungai yang lebarnya sejauh 600 m. Diketahui kecepatan arus di sungai tersebut sebesar 4 m/s. Apabila perahu diarahkan tegak lurus terhadap aliran sungai tentukan,

- (a) Kecepatan perahu terhadap pengamat A yang berada di tepi sungai?
- (b) Pergeseran yang terjadi ketika sampai diseborang sungai
- (c) Waktu yang diperlukan untuk menyebrangi sungai?

Jawab: Gambar 13.3 diberikan sebagai ilustrasi dari persoalan di atas.



Gambar 13.3. Ilustrasi gerak relatif perahu menyebrangi sungai.

(a) Kecepatan perahu terhadap pengamat A yang berada di tepi sungai. Diketahui, bahwa kecepatan perahu ini adalah kecepatan terhadap arus sungai, yang arahnya tegak lurus terhadap kecepatan arus sungai. Dengan demikian kecepatan perahu terhadap pengamat di tepi sungai (\vec{v}_{PA}) ditentukan dengan Persamaan 13.7

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

Untuk besar dari \vec{v}_{PA} adalah

$$|\vec{v}_{PA}|^2 = |\vec{v}_{PB}|^2 + |\vec{v}_{BA}|^2$$

$$|\vec{v}_{PA}|^2 = (10)^2 + (4)^2$$

$$|\vec{v}_{PA}| = \sqrt{(10)^2 + (4)^2} = 10,77$$

Diperoleh besar kecepatan perahu terhadap pengamat A yang berada di tepi sungai adalah 10,77 m/s.

(b) Untuk pergeseran perahu, tentukan sudut pergeseran yang terjadi selama perahu menyebrangi sungai dengan hubungan

$$\tan \theta = \frac{|\vec{v}_{BA}|}{|\vec{v}_{PB}|} = \frac{4}{10} = 0,4$$

diperoleh $\theta = 21,80^\circ$. Sedangkan untuk pergeseran x ditentukan dengan hubungan

$$\tan \theta = \frac{x}{600}$$

$$x = 600 \cdot 0,4 = 240$$

diperoleh jarak pergeseran x yang terjadi sejauh 240 m.

(c) Waktu yang ditempuh selama perjalanan menyebrangi sungai tetap menggunakan persamaan

$$t = \frac{s}{v}$$

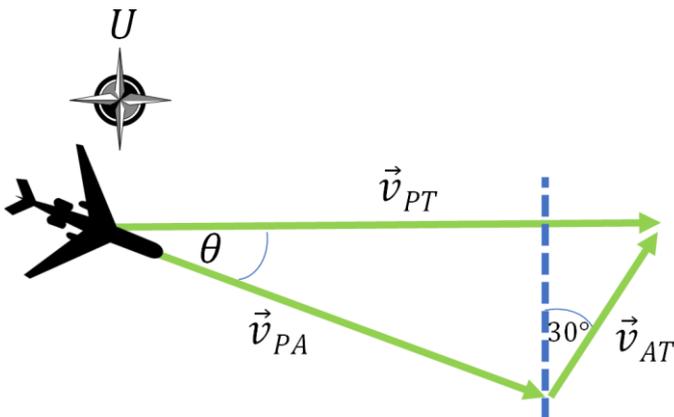
dimana s adalah lebar sungai dan v adalah kecepatan perahu yang tegak lurus dengan arah aliran sungai,

$$t = \frac{600}{10} = 60$$

diperoleh waktu untuk menyebrangi sungai selama 60 detik.

Contoh 3: Sebuah pesawat dengan kecepatan relatif terhadap angin sebesar 250 km/jam mengarah ke tenggara sebesar θ . Sedangkan angin memiliki kecepatan terhadap tanah sebesar 50 km/jam mengarah 30° ke timur laut. Tentukan nilai θ dan kecepatan pesawat terhadap tanah.

Jawab: Perhatikan Gambar 13.4 berikut ini,



Gambar 13.4. Ilustrasi gerak relatif pesawat terbang.

Indeks PA = pesawat terhadap angin, AT = angin terhadap tanah dan PT = pesawat terhadap tanah. Hubungan kecepatan dari Gambar 13.4 dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\vec{v}_{PT} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT}$$

Untuk menentukan besar sudut θ , vektor kecepatan ini dituliskan dalam vektor komponennya sebagai berikut,

$$\vec{v}_{PT,y} = \vec{v}_{PA,y} + \vec{v}_{AT,y}$$

$$0 = (-250) \sin \theta + (50) \cos 30$$

$$\sin \theta = \frac{(50) \cos 30}{250} = \frac{43,30}{250} = 0,17$$

diperoleh nilai $\theta = 9,79^\circ$.

Sedangkan untuk memperoleh nilai \vec{v}_{PT} menggunakan vektor komponen berikut,

$$\vec{v}_{PT,x} = \vec{v}_{PA,x} + \vec{v}_{AT,x}$$

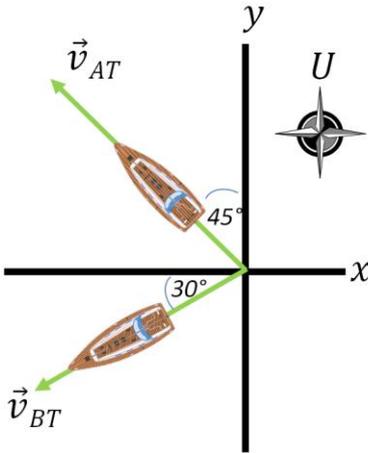
$$\vec{v}_{PT,x} = (250) \cos 9,79 + (50) \sin 30$$

$$\vec{v}_{PT,x} = 246,36 + 25 = 271,36$$

diperoleh nilai $\vec{v}_{PT} = 271,36$ km/jam.

Contoh 4: Dua perahu A dan B meninggalkan pelabuhan dalam waktu bersamaan. Perahu A bergerak ke barat daya dengan kecepatan 12 m/s, dan perahu B bergerak dengan kecepatan 14 m/s ke arah 30° barat laut. Tentukan (a) besar dan (b) arah kecepatan relatif A terhadap B? (c) Setelah berapa lama kedua perahu terpisah sejauh 2000 m (d) tentukan arah B terhadap A pada saat tersebut.

Jawab: Perhatikan ilustrasi pada Gambar 13.5 berikut ini,



Gambar 13.5. Ilustrasi gerak relatif perahu A dan B yang meninggalkan pelabuhan diwaktu yang sama.

Dari gambar ini dapat jabarkan masing-masing vektor kecepatan menjadi vektor kompoenen kecepataannya.

- Perahu A

$$\vec{v}_{AT,x} = \vec{v}_{AT} \sin 45 = 12 \cdot 0,707 = 8,484$$

$$\vec{v}_{AT,x} = 8,484 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{AT,y} = \vec{v}_{AT} \cos 45 = 12 \cdot 0,707 = 8,484$$

$$\vec{v}_{AT,y} = 8,484 \text{ m/s}$$

- Perahu B

$$\vec{v}_{BT,x} = \vec{v}_{BT} \cos 30 = 14 \cdot 0,866 = 12,124$$

$$\vec{v}_{BT,x} = 12,124 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{BT,y} = \vec{v}_{BT} \sin 30 = 14 \cdot 0,500 = 7,000$$

$$\vec{v}_{BT,y} = 7,000 \text{ m/s}$$

Untuk komponen kecepatan pada sumbu- x berlaku,

$$\vec{v}_{AB,x} = \vec{v}_{AT,x} + \vec{v}_{BT,x}$$

$$\vec{v}_{AB,x} = -8,484 + (-12,124) = -20,608$$

Untuk komponen kecepatan pada sumbu-y berlaku,

$$\vec{v}_{AB,y} = \vec{v}_{AT,y} + \vec{v}_{BT,y}$$

$$\vec{v}_{AB,y} = 8,484 + (-7,000) = 1,484$$

(a) Besar resultan kecepatan \vec{v}_{AB} ditentukan dari komponennya diperoleh,

$$|\vec{v}_{AB}| = \sqrt{(|\vec{v}_{AB,x}|)^2 + (|\vec{v}_{AB,y}|)^2}$$

$$|\vec{v}_{AB}| = \sqrt{(-20,608)^2 + (1,484)^2} = 20,661$$

kecepatan relatif perahu A terhadap perahu B \vec{v}_{AB} adalah 20,661 m/s.

(b) Arah kecepatan relatif perahu A terhadap perahu B \vec{v}_{AB} adalah,

$$\tan \theta = \frac{|\vec{v}_{AB,y}|}{|\vec{v}_{AB,x}|} = \frac{1,484}{-20,608} = -0,072$$

diperoleh sudut $\theta = 4,12^\circ$ ke arah timur laut dari perahu B.

(c) Perahu A dan B bergerak dengan kecepatan konstan, untuk waktu yang diperlukan untuk terpisah sejauh 2000 m adalah,

$$t = \frac{d}{|\vec{v}_{AB}|} = \frac{2000}{20,661} = 96,800$$

diperoleh waktu yang diperlukan selama 96,800 detik.

(d) Selama perjalanan tersebut perahu B bergerak dengan sudut relatif sebesar $4,12^\circ$ ke barat daya terhadap perahu A.

Latihan

Slesaikanlah soal latihan berikut,

1. Sebuah perahu mengalir mengikuti arah aliran sungai dengan kecepatan 14 km/jam terhadap aliran sungai. Kecepatan arus air sungai sebesar 9 km/jam terhadap tanah, (a) tentukan besar kecepatan relatif perahu terhadap pengamat yang diam ditepi sungai. Apabila di dalam perahu ada seseorang yang berjalan

- berlawanan arah dengan kecepatan 6 km/jam terhadap perahu, (b) tentukan besar kecepatan relatif orang tersebut terhadap pengamat di tepi sungai.
2. Sebuah mobil A bergerak dengan kecepatan 40 m/s sedangkan mobil B bergerak berlawanan arah dengan mobil A dengan kecepatan 30 m/s. Tentukan kecepatan relatif mobil B terhadap mobil A.
 3. Dalam balapan mobil, mobil A melaju dengan kecepatan 300 km/jam. Apabila mobil B dengan kecepatan 320 km/jam tertinggal sejauh 1,5 km, (a) berapa lama waktu yang dibutuhkan mobil B untuk mengejar mobil A, dan (b) tentukan total jarak yang ditempuh mobil B untuk menyusul mobil A?
 4. Sebuah pesawat yang bergerak ke barat melaju dengan kecepatan 120 km/jam terhadap angin. Sedangkan angin bertiup ke utara dengan kecepatan 20 km.ham. Tentukan kecepatan relatif pesawat terhadap tanah!
 5. Seorang pilot harus menerbangkan pesawatnya ke utara untuk mencapai tujuannya. Pesawat dapat terbang dengan kecepatan 300 km/jam bila tidak ada angin. Angin berhembus ke timur laut dengan kecepatan 90 km/jam. (a) Tentukan kecepatan relatif pesawat terhadap tanah? (b) tentukan arah pesawat agar tetap mengarah ke utara.
 6. Setelah terbang selama 15 menit dengan kecepatan hembusan angin sebesar 42 km/jam yang membentuk sudut 30° ke arah tenggara, sebuah pesawat melewati sebuah kota yang jaraknya 55 km di utara dari kota asalnya. Tentukan kecepatan relatif pesawat terhadap angin?
 7. Perahu melintasi sungai tegak lurus terhadap aliran sungai dengan kecepatan 4,5 m/s. Sedangkan arus sungainya mengalir dengan kecepatan 3,0 m/s Tentukan kecepatan relatif perahu terhadap tanah?
 8. Sebuah truk bergerak mengarah ke selatan dengan kecepatan 70 km/jam menuju persimpangan jalan. Sebuah mobil bergerak dari barat menuju persimpangan jalan yang sama dengan kecepatan 80

- km/jam. Tentukan kecepatan relatif mobil terhadap truk dan arahnya?
9. Sebuah motor bergerak mengarah ke selatan dengan kecepatan 60 km/jam menuju persimpangan jalan. Sebuah mobil bergerak dari timur menuju persimpangan jalan yang sama dengan kecepatan 90 km/jam. Tentukan kecepatan relatif mobil terhadap motor dan arahnya?
 10. Sebuah kereta melaju dengan kecepatan 30 m/s terhadap tanah. Apabila hujan yang tertiup angin membentuk sudut 60° dari garis vertikal ke arah yang berlawanan dengan arah kereta, tentukan kecepatan relatif hujan terhadap tanah. Menurut pengamat yang diam di tanah tetap melihat hujan turun secara vertikal.

Daftar Pustaka

- Griffith, W. T., & Brosing, J. (2022). *The Physics of Everyday Phenomena* (10th ed.). McGraw Hill.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). *Fundamentals of Physics, 11th Edition Extended*. Wiley.
- Mazur, E. (2021). *Principles & Practice of Physics* (2nd ed.). Pearson Education.

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. Penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia yang diselesaikan pada tahun 2010. Penulis menyelesaikan studi S3 pada tahun 2015 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 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

- 1 KONSEP KINEMATIKA
Sudirman
- 2 JARAK DAN PERPINDAHAN
Ni Luh Putu Mery Marlinda
- 3 KELAJUAN DAN KECEPATAN
Wirda
- 4 PERCEPATAN
Bergita Gela M Saka
- 5 KINEMATIKA ROTASI
Wilson Jefriyanto
- 6 GERAK LURUS BERATURAN
Febri Rismaningsih
- 7 GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN
Iman Noor
- 8 GERAK JATUH BEBAS
Anisa Budi Putranti
- 9 GERAK PADA DATAR
Muh. Said L
- 10 GERAK MELENGKUNG
Sitti Nurrahmi
- 11 GERAK MELINGKAR BERATURAN
Rochmat Hidayat
- 12 GERAK MELINGKAR BERUBAH BERATURAN
Jusman
- 13 GERAK RELATIF
Jan Setiawan

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 978-623-195-131-1 (PDF)

