

BAHAN AJAR MAHASISWA **FISIKA DASAR** MODEL *PROBLEM BASED LEARNING*

Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Z.A Imam Supardi, Ph.D.
Dr. Munasir, M.Si.
Dr. Paken Pandiangan, M.Si.
Dr. Iwan Wicaksono, M.Pd.
Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.

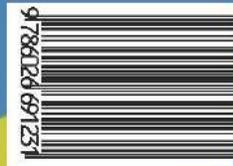
Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd., dkk

BAHAN AJAR MAHASISWA FISIKA DASAR BERBASIS MODEL PBL

JAUDAR PRESS



JAUDAR PRESS
PERCETAKAN DAN PENERBITAN
JL. JEMUR WONOSARI LEBAR 61
SURABAYA 60237
TELP & FAX : (031) 8491461



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN FISIKA
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
2017

BAHAN AJAR MAHASISWA FISIKA DASAR BERBASIS MODEL PBL

Oleh:

Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.

Z.A Imam Supardi, Ph.D.

Dr. Munasir, M.Si.

Dr. Paken Pandiangan, M.Si.

Dr. Iwan Wicaksono, M.Pd.

Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.

JAUDAR PRESS

2017

Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Z.A Imam Supardi, Ph.D.
Dr. Munasir, M.Si.
Dr. Paken Pandiangan, M.Si.
Dr. Iwan Wicaksono, M.Pd.
Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.

BAHAN AJAR MAHASISWA FISIKA DASAR BERBASIS MODEL PBL

Surabaya: JAUDAR PRESS, 2017
95 hlm
ISBN978-602-6691-23-1

Hakcipta pada pengarang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa seizin dari penerbit

Cetakan Pertama, 2017

Hak penerbitan pada JAUDAR PRESS, Surabaya
Desain cover : *Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.*
Layouter : *Dr. Binar Kurnia Prahani, M.Pd.*

Dicetak di CV. JAUHAROH DARUSALAM

Penerbit JAUDAR PRESS
Jl. Jemur Wonosari Lebar 61
Wonocolo, Surabaya-60237
Telp/Fax : (031)8491461
Email : jaudar_press@ymail.com
jaudarpress@gmail.com

Walker, J., Halliday, D., & Resnick, R. (2008). *Fundamentals of physics*: Hoboken, NJ: Wiley.
Young, H. D. (2008). *Sears and Zemansky's university physics* (Vol. 1): Pearson education.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M., & Finn, E. J. (1967). *Fundamental university physics* (Vol. 2): Addison-Wesley Reading, MA.
- Arons, A. B., & Redish, E. F. (1997). *Teaching introductory physics* (Vol. 22): Wiley New York.
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American journal of Physics*, 62(8), 750-762.
- Bunge, M. (1973). *Philosophy of physics*: Springer.
- Carnap, R. (1966). *Philosophical foundations of physics* (Vol. 966): Basic Books New York.
- Cushing, J. T., & Cushing, J. T. (1998). *Philosophical concepts in physics: the historical relation between philosophy and scientific theories*: JSTOR.
- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: principles with applications*: Pearson Education USA.
- Gurtin, M. E. (2008). *Configurational forces as basic concepts of continuum physics* (Vol. 137): Springer Science & Business Media.
- Jammer, M. (1997). *Concepts of mass in classical and modern physics*: Courier Corporation.
- Jammer, M. (2000). *Concepts of mass in contemporary physics and philosophy*: Princeton University Press.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1998). *Tutorials in introductory physics*: Prentice Hall.
- Pierce, A. D. (1981). *Acoustics: an introduction to its physical principles and applications* (Vol. 678): McGraw-Hill New York.
- Ramtal, D., & Dobre, A. (2014). Basic Physics Concepts *Physics for JavaScript Games, Animation, and Simulations* (pp. 75-108): Springer.
- Resnick, R., Walker, J., & Halliday, D. (1988). *Fundamentals of physics* (Vol. 1): John Wiley.

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas semua karunia yang telah diberikan dan Syafaat Rasulullah SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Bahan Ajar Mahasiswa (BAM) Fisika Dasar Berbasis Model *Problem Based Learning*. BAM ini terdiri atas 1) Sistem Satuan dan Pengukuran, 2) Gerak Lurus Beraturan, 3) Gerak Lurus Berubah Beraturan, 4) Gerak Melingkar. Model Pembelajaran *Problem Based Learning* telah *by design* dalam BAM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis mahasiswa.

Keberhasilan penyusunan BAM Fisika Dasar Berbasis Model *Problem Based Learning* ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada Prof. Dr. Madlazim, M.Si., Dr. Wasis, M.Si., dan Nia Herliani, M.Pd. yang turut membantu dalam penyempurnaan BAM ini. Penulis berharap BAM Fisika Dasar Berbasis Model *Problem Based Learning* ini dapat bermanfaat dalam pembelajaran fisika dan penelitian di bidang pendidikan sains. Kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan guna kesempurnaan BAM Fisika Dasar Berbasis Model *Problem Based Learning* ini. Salam sukses.

Surabaya, 2017

Penulis

Prof. Dr. Budi Jatmiko, M.Pd., dkk.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
A. Sistem Satuan dan Pengukuran	1.1
B. Gerak Lurus Beraturan	2.1
C. Gerak Lurus Berubah Beraturan	3.1
D. Gerak Melingkar	4.1
E. Daftar Pustaka.....	5.1

Self Regulation

Setelah Anda mempelajari materi pada pertemuan ini, buatlah pertanyaan pada diri sendiri: konsep-konsep dan keterampilan-keterampilan apa yang telah Anda kuasai? Adakah yang belum Anda kuasai dengan baik? Bagaimanakah langkah Anda selanjutnya? Apakah Anda memiliki ide yang berkaitan dengan konsep-konsep atau keterampilan- keterampilan dalam pertemuan ini? Tuliskan semuanya di sini!

keperluan membuat pemodelan matematis, maka di dalam fisika dilakukan kegiatan pengukuran. Karena itu, pengukuran merupakan bagian yang sangat penting dalam membangun konsep-konsep fisika.

Awalan-awalan dalam sistem metrik yang digunakan dalam SI

Faktor	Awala	Simbol	Faktor	Awalan	Simbol
10^1	eksa	E	10^{-1}	desi	d
10^1	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^1	tera	T	10^{-3}	mil	m
10^9	giga	G	10^{-6}	mikro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	K	10^{-12}	piko	p
10^2	hekto	h	10^{-15}	femto	f
10^1	deka	da	10^{-18}	atto	a

Kecepatan sudut ω didefinisikan sebagai berikut,

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

Sehingga,

$$\vec{v} = R\vec{\omega}$$

$$a_r = R\omega^2$$

Pada gerak ini besar kecepatan sudut selalu tetap, dapat dideferensialkan terhadap waktu, dan jika untuk $t_0 = 0$, akan diperoleh persamaan sudut/angular,

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

Percepatan tersebut ada setiap kali benda bergerak melingkar dan arahnya menuju ke pusat lingkaran, sehingga biasa disebut percepatan normal/sentripetal/radial (\vec{a}_r).

Deskripsi gerak melingkar lebih menguntungkan bila dinyatakan dalam besaran sudut. Melalui gambar 4.5 hubungan antara besaran linier dalam gerak melingkar dengan besaran angular/sudut dapat dijabarkan sebagai berikut.

Perubahan posisi benda sepanjang busur HI dinyatakan dengan perubahan sudut $d\theta$ melalui hubungan busur HI = $d\vec{s} = R d\vec{\theta}$

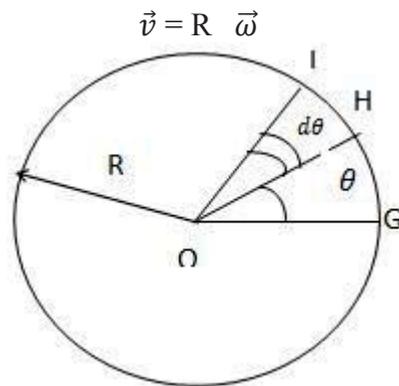
Dengan demikian kecepatan linier benda adalah,

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = R \frac{d\vec{\theta}}{dt}$$

Kecepatan sudut ω didefinisikan sebagai berikut,

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \vec{\theta}}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{\theta}}{dt}$$

Sehingga,



Gambar 4.6. Perubahan sudut gerak melingkar

Tujuan

Setelah mempelajari konsep sistem Satuan dan pengukuran ini mahasiswa dapat:

1. mengidentifikasi tiga besaran pokok beserta satuan dan alat ukurnya;
2. **menuliskan** dan **mengoperasikan** bilangan dalam notasi ilmiah;
3. **menerapkan** konversi satuan SI-British;
4. **menerapkan** prinsip-prinsip ketelitian pengukuran dan angka penting hasil pengukuran pada operasi matematika sederhana;
5. **menerapkan** analisis dimensi pdapersoalan yang sesuai.

Fisika merupakan bagian Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) yang mempelajari materi, energi, dan perubahannya. Para ahli fisika mencoba memahami alam dengan melakukan pengamatan, kemudian mencoba membuat model matematis yang dapat menjelaskan pengamatan tersebut.

Model akan diterima jika model tersebut sesuai dengan hasil pengamatan dan lebih sederhana dibanding model yang lain. Pengamatan secara kualitatif menghasilkan deskripsi-deskripsi terhadap yang diamati. Untuk dapat dikomunikasikan secara eksak dan keperluan membuat pemodelan matematis, maka di dalam fisika dilakukan kegiatan pengukuran. Karena itu, pengukuran merupakan bagian yang sangat penting dalam membangun konsep-konsep fisika.

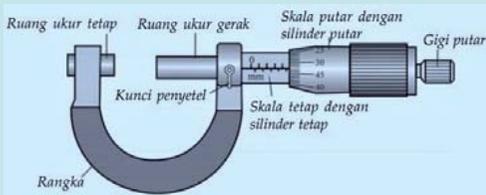
Pengukuran adalah membandingkan suatu besaran yang diukur dengan alat ukur yang digunakan sebagai satuan. Sesuatu yang dapat diukur dan dapat dinyatakan dengan angka disebut besaran, sedangkan pembanding dalam suatu pengukuran disebut satuan.

Satuan yang digunakan untuk melakukan pengukuran dengan hasil yang sama atau tetap untuk semua orang disebut satuan baku, sedangkan satuan yang digunakan untuk melakukan pengukuran dengan hasil yang tidak sama untuk orang yang berlainan disebut s

Pengukuran

Fase 1: Orient Students to the Problem

Penerapan pembelajaran model PBL pada fase 1 ini, mahasiswa dihadapkan pada masalah yang bersifat autentik tentang materi Pengukuran. Pada fase ini, mahasiswa diharapkan mampu menggunakan dan mengembangkan kemampuan dasar yang dimilikinya untuk menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah dan mengidentifikasi variabel.

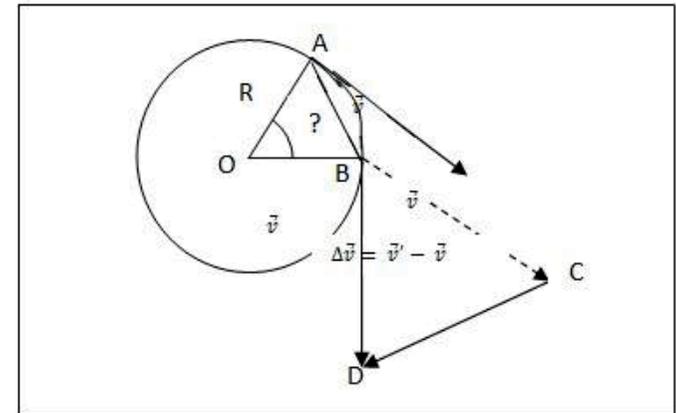


Gambar 1.1. Alat ukur

Masalah Autentik:

Diberikan beberapa bahan dengan diameter yang berbeda-beda. Alat ukur apa yang sesuai untuk mengukur diameter dari bahan-bahan tersebut?

tetap. Artinya, **besar kecepatan benda tetap** meskipun **arahnya jelas berubah**. Dengan demikian ada percepatan dalam gerakan benda. Perhatikan perubahanvektor kecepatan benda yang melakukan gerak melingkar pada Gambar 3.8. di bawah. Posisi awal benda di titik A dengan kecepatan, kemudian menempuh busur AB.



Gambar 4.5 Vektor kecepatan pada gerak melingkar

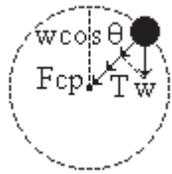
Kecepatan benda di B menjadi v' tepat menyinggung lintasan di titik B. Perubahan kecepatan yang terjadi: $\Delta v = v' - v$ Untuk θ sangat kecil, tali busur AB dapat di anggap sama dengan panjang AB, sehingga : $\overline{AB} = v \Delta t$

Teorema geometris pada ΔOAB dan ΔBCD menunjukkan keduanya sebangun berarti:

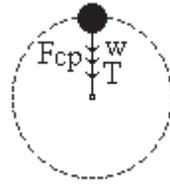
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\overline{AB}}{R} = \frac{v \Delta t}{R} \quad \text{atau} \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$$

Sehingga percepatan sesaat benda,

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \right) = \frac{v^2}{R}$$

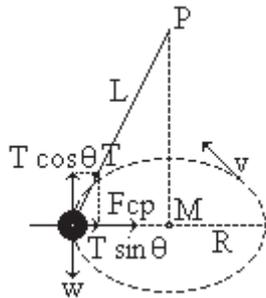


$$T = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \cos \theta$$



$$T = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$$

BENDA DIHUBUNGAN DENGAN TALI DIPUTAR MENDATAR (AYUNAN CENTRIFUGAL/KONIS)



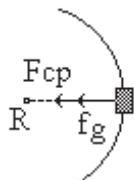
$$T \cos \theta = m \cdot g$$

$$T \sin \theta = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\text{Periodenya } T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$$

Keterangan: R adalah jari-jari lingkaran

GERAK BENDA PADA SEBUAH TIKUNGAN BERBENTUK LINGKARAN MENDATAR



$$N \cdot \mu_k = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

N = gaya normal

N = m . g

Pada gerak melingkar beraturan ini benda membuat lintasan berbentuk lingkaran berjari-jari R dengan ketentuan bahwa panjang busur yang ditempuh tiap satu satuan waktu

Dari masalah autentik tersebut, apakah mahasiswa menemukan hasil yang sama antara fenomena yang diamati dengan hasil simulasi yang dilakukan? Bila ternyata sama, maka mahasiswa dapat menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase pembelajaran selanjutnya dengan semangat dan pemahaman yang benar. Tetapi bila tidak sama, maka mahasiswa dapat mencoba dan melakukan kembali simulasi dengan usaha yang lebih bersungguh-sungguh sehingga mahasiswa dapat memahami perbedaan yang terjadi sebelum menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase berikutnya.

Berdasarkan masalah autentik tersebut, mahasiswa dapat merumuskan masalah yang berkaitan dengan percobaan pengukuran, yaitu:

1. -----
2. -----
3. -----

Tujuan pembelajaran dalam percobaan pengukuran ini adalah:

1. -----
2. -----
3. -----

Fase 2: *Organize Students For Study*

Pada fase 2 ini, dosen memfasilitasi mahasiswa sehingga diharapkan mampu mengidentifikasi variabel-variabel, dan merumuskan hipotesis tentang pengukuran.

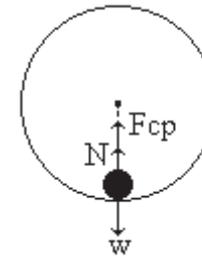
Variabel-variabel yang ada pada materi pengukuran ini adalah:

- Variabel bebas: -----
-
- Variabel terikat: -----

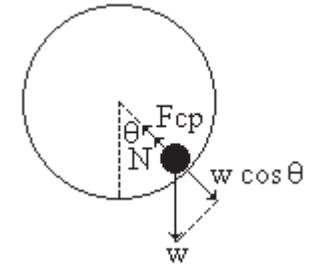
Berdasarkan rumusan masalah dan identifikasi variabel, maka dapat diajukan hipotesis sebagai berikut.

1. -----
2. -----
3. -----
4. -----

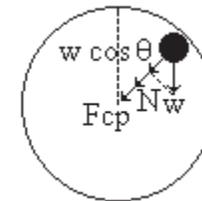
GERAK BENDA DI DALAM DINDING MELINGKAR



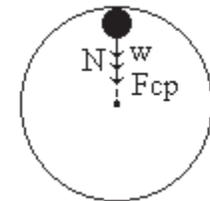
$$N = m \cdot g + m \cdot \frac{v^2}{R}$$



$$N = m \cdot g \cos \theta + m \cdot \frac{v^2}{R}$$

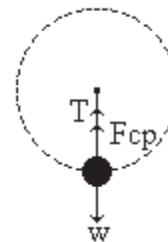


$$N = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \cos \theta$$

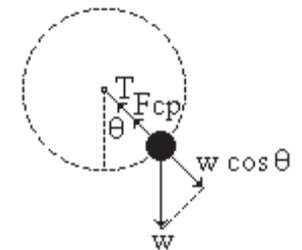


$$N = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g$$

BENDA DIHUBUNGKAN DENGAN TALI DIPUTAR VERTIKAL



$$T = m \cdot g + m \cdot \frac{v^2}{R}$$



$$T = m \cdot g \cos \theta + m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Penyelesaian:

Temukan dulu kecepatan sudutnya.

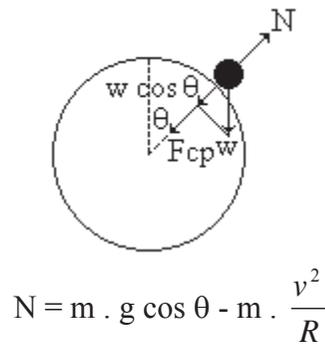
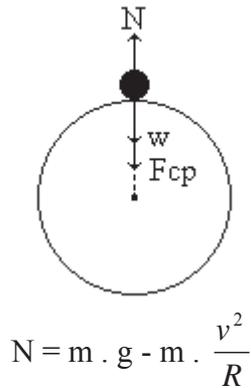
$$\omega = 180 \text{ rpm} = 180 \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 6\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

maka:

$$\begin{aligned} a_s &= \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r \\ &= (6\pi)^2 \times 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= 54\pi^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

CONTOH BENDA BERGERAK MELINGKAR

GERAK BENDA DI LUAR DINDING MELINGKAR



Fase 3: Assist independent and group investigation

Pada fase 3 ini, mahasiswa melakukan investigasi mandiri secara individu dan dalam kelompok sehingga mahasiswa diharapkan mampu menentukan tujuan percobaan, menyiapkan alat dan bahan, menyusun cara kerja, dan mengumpulkan data yang diperlukan tentang pengukuran.

Kegiatan Penyelidikan

1. Percobaan Pengukuran

a. Alat dan Bahan

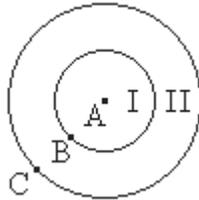
- 1) Mistar
- 2) Jangka sorong
- 3) Mikrometer sekerup
- 4) Buku

b. Cara Kerja

- 1) Mengukur ketebalan buku pertama dengan menggunakan mistar dan mencatat hasil pengukuran yang sudah diamati di dalam Tabel Pengamatan!
- 2) Melakukan langkah yang sama dengan langkah i, menggunakan jangka sorong!
- 3) Melakukan langkah yang sama dengan langkah i, menggunakan mikrometer sekerup!
- 4) Mengulangi langkah i, ii, dan iii dengan buku kedua dan ketiga!

SISTEM RODA PADA SATU SUMBU (CO-AXLE)

Jika roda-roda tersebut disusun dalam satu poros putar, maka pada sistem tersebut titik-titik yang terletak pada satu jari mempunyai kecepatan angular yang sama, tetapi kecepatan liniernya tidak sama.



$$\omega_A = \omega_R = \omega_C, \text{ tetapi } v_A \neq v_B \neq v_C$$

PERCEPATAN SENTRIPETAL

Jika suatu benda melakukan gerak dengan kelajuan tetap mengelilingi suatu lingkaran, maka arah dari gerak benda tersebut mempunyai perubahan yang tetap. Dalam hal ini maka benda harus mempunyai percepatan yang merubah arah dari kecepatan tersebut.

Arah dari percepatan ini akan selalu tegak lurus dengan arah kecepatan, yakni arah percepatan selalu menuju kearah pusat lingkaran. Percepatan yang mempunyai sifat-sifat tersebut di atas dinamakan Percepatan Centripetal.

Harga percepatan centripetal (a_r) adalah :

$$a_r = \frac{(\text{kecepatan linier pada benda})^2}{\text{jari - jari lingkaran}}$$

$$a_r = \frac{v^2}{R} \quad \text{atau} \quad a_r = \omega^2 R$$

Gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar beraturan disebut Gaya Centripetal yang arahnya selalu ke pusat lingkaran. Sedangkan gaya reaksi dari gaya centripetal (gaya radial) ini disebut Gaya Centrifugal yang arahnya

Fase 4: *Develop and Present Artifacts and Exhibits*

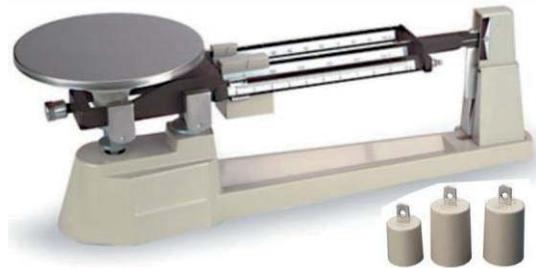
Pada fase 4 ini masing-masing kelompok mahasiswa diharapkan mampu mempresentasikan hasil investigasi dan analisis yang diperoleh serta mendiskusikan materi pengukuran dengan kelompok yang lain. Salah satu dari anggota masing-masing kelompok dipilih sebagai juru bicara untuk presentasi, sedangkan salah seorang lainnya menjadi moderator untuk memimpin jalannya diskusi pleno.

A. PENGERTIAN PENGUKURAN

Pengukuran merupakan kegiatan sederhana, tetapi sangat penting dalam kehidupan kita. Pengukuran merupakan kegiatan membandingkan suatu besaran dengan besaran lain sej enis yang dipergunakan sebagai satuannya. Misalnya, Anda mengukur panjang buku dengan mistar, artinya Anda membandingkan panjang buku tersebut dengan satuansatuan panjang yang ada di mistar, yaitu milimeter atau centimeter, sehingga diperoleh hasil pengukuran, panjang buku adalah 210 mm atau 21 cm.

Ada dua hal yang perlu diperhatikan dalam kegiatan pengukuran, *pertama* masalah ketelitian (*presisi*) dan *kedua* masalah ketepatan (*akurasi*). Presisi menyatakan derajat kepastian hasil suatu pengukuran, sedangkan akurasi menunjukkan seberapa tepat hasil pengukuran mendekati nilai yang sebenarnya. Presisi bergantung pada alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran. Umumnya, semakin kecil pembagian skala suatu alat semakin presisi hasil pengukuran alat tersebut. Mistar umumnya memiliki skala terkecil 1 mm, sedangkan jangka sorong mencapai 0,1 mm atau 0,05 mm, maka pengukuran menggunakan jangka sorong akan memberikan hasil yang lebih presisi dibandingkan menggunakan mistar. Meskipun

memungkinkan untuk mengupayakan kepresisian pengukuran dengan memilih alat ukur tertentu, tetapi tidak mungkin menghasilkan pengukuran yang tepat (*akurasi*) secara mutlak. Keakurasian pengukuran harus dicek dengan cara membandingkan terhadap nilai standar yang ditetapkan. Keakurasian alat ukur juga harus dicek secara periodik dengan metode *the two-point calibration*. Pertama, apakah alat ukur sudah menunjuk nol sebelum digunakan? Kedua, apakah alat ukur memberikan pembacaan ukur yang benar ketika digunakan untuk mengukur sesuatu yang standar?



Gambar 1.2 Neraca Ukur

B. SUMBER-SUMBER KETIDAKPASTIAN DALAM PENGUKURAN

Ada tiga sumber utama yang menimbulkan ketidakpastian pengukuran, yaitu ketidakpastian sistemik dan ketidakpastian random

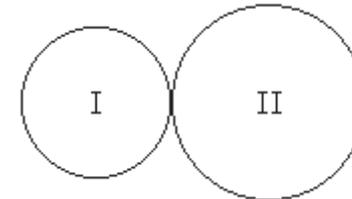
KETIDAKPASTIAN SISTEMATIK

Ketidakpastian sistematis bersumber dari alat ukur yang digunakan atau kondisi yang menyertai saat pengukuran. Bila sumber ketidakpastian adalah alat ukur, maka setiap alat ukur tersebut digunakan akan memproduksi ketidakpastian yang sama. Yang termasuk ketidakpastian sistematis antara lain ketidakpastian alat, kesalahan nol, waktu respon yang tidak tepat, dan kondisi yang tidak sesuai.

SISTEM GERAK MELINGKAR PADA BEBERAPA SUSUNAN RODA.

SISTEM LANGSUNG

Pemindahan gerak pada sistem langsung yaitu melalui persinggungan roda yang satu dengan roda yang lain.

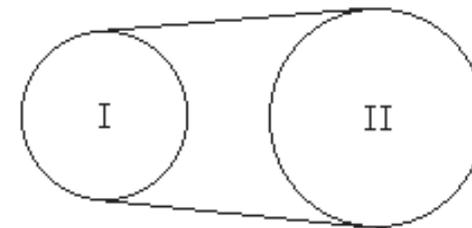


Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuan angular tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2$$

SISTEM TAK LANGSUNG.

Pemindahan gerak pada sistem tak langsung yaitu pemindahan gerak dengan menggunakan ban penghubung atau rantai.



Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuannya angularnya tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2$$

KECEPATAN LINIER DAN KECEPATAN SUDUT

Jika dalam waktu T detik ditempuh jalan sepanjang keliling lingkaran ialah $2\pi R$, maka kelajuan partikel P untuk mengelilingi lingkaran dapat dirumuskan :

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

Kecepatan ini disebut kecepatan linier dan diberi notasi v . Kecepatan angular (sudut) diberi notasi ω adalah perubahan dari perpindahan sudut persatuan waktu (setiap saat). Biasanya dinyatakan dalam radian/detik, derajat perdetik, putaran perdetik (rps) atau putaran permenit (rpm). Bila benda melingkar beraturan dengan sudut rata-rata (ω) dalam radian perdetik:

$$\omega = \frac{\text{sudut gerakan (radian)}}{\text{waktu (detik) yang diperlukan untuk membentuk sudut tersebut.}}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

jika 1 putaran maka: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ rad/detik atau $\omega = 2\pi f$

Dengan demikian besarnya sudut yang ditempuh dalam t detik:

$$\theta = \omega t \quad \text{atau} \quad \theta = 2\pi f t$$

Dengan demikian antara v dan ω kita dapatkan hubungan :

$$v = \omega R$$

KETIDAKPASTIAN ALAT

Ketidakpastian ini muncul akibat kalibrasi skala penunjukkan angka pada alat tidak tepat, sehingga pembacaan skala menjadi tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Misalnya, kuat arus listrik yang melewati suatu beban sebenarnya 1,0 A, tetapi bila diukur menggunakan suatu Ampermeter tertentu selalu terbaca 1,2 A. Untuk mengatasi ketidakpastian alat, harus dilakukan kalibrasi setiap alat tersebut dipergunakan.

KESALAHAN NOL

Ketidakpastian penunjukkan alat pada skala nol juga melahirkan ketidakpastian sistematis. Hal ini sering terjadi, tetapi juga sering terabaikan. Pada sebagian besar alat umumnya sudah dilengkapi dengan skrup pengatur/pengenal. Bila sudah diatur maksimal tetap tidak tepat pada skala nol, maka untuk mengatasinya harus diperhitungkan selisih kesalahan tersebut setiap kali melakukan pembacaan skala.

WAKTU RESPON YANG TIDAK TEPAT

Ketidakpastian pengukuran ini muncul akibat dari waktu pengukuran (pengambilan data) tidak bersamaan dengan saat munculnya data yang seharusnya diukur, sehingga data yang diperoleh bukan data yang sebenarnya. Misalnya, kita ingin mengukur periode getar suatu beban yang digantungkan pada pegas dengan menggunakan stopwatch. Selang waktu yang kita ukur sering tidak tepat karena terlalu cepat atau terlambat menekan tombol stopwatch saat kejadian berlangsung.

KONDISI YANG TIDAK SESUAI

Ketidakpastian pengukuran ini muncul karena kondisi alat ukur dipengaruhi oleh kejadian yang hendak diukur. Misal, mengukur nilai transistor saat dilakukan penyolderan, atau mengukur panjang sesuatu pada suhu tinggi menggunakan mistar logam. Hasil yang diperoleh tentu bukan nilai yang sebenarnya

karena panas memengaruhi sesuatu yang diukur dengan alat pengukuranya.

KETIDAKPASTIAN RANDOM

Ketidakpastian random umumnya bersumber dari gejala yang tidak mungkin dikendalikan secara pasti atau tidak dapat diatasi secara tuntas. Gejala tersebut umumnya merupakan perubahan yang sangat cepat dan acak hingga pengaturan atau pengontrolannya di luar kemampuan kita. Ketidakpastian ini misalnya akibat fluktuasi listrik, getaran landasan, gangguan latar belakang, gerak molekul udara, dan lain-lain.

FLUKTUASI PADA BESARAN LISTRIK

Tegangan listrik selalu mengalami fluktuasi (perubahan terus menerus secara cepat dan acak). Akibatnya kalau kita ukur, nilainya juga berfluktuasi. Demikian pula saat kita mengukur kuat arus listrik.

GETARAN LANDASAN

Alat yang sangat peka (misalnya *seismograf*) akan melahirkan ketidakpastian karena gangguan getaran landasannya.

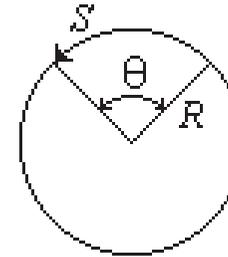
RADIASI LATAR BELAKANG

Radiasi kosmos dari angkasa dapat memengaruhi hasil pengukuran alat pencacah, sehingga melahirkan ketidakpastian random.

GERAK ACAK MOLEKUL UDARA

Molekul udara selalu bergerak secara acak (*gerak Brown*), sehingga berpeluang mengganggu alat ukur yang halus, misalnya mikro-galvanometer dan melahirkan ketidakpastian pengukuran.

Besarnya sudut :



$$\theta = \frac{S}{R} \text{ radian}$$

S = panjang busur
R = jari-jari

Jika panjang busur sama dengan jari-jari, maka $\theta = 1$ radian. Satu radian dipergunakan untuk menyatakan posisi suatu titik yang bergerak melingkar (beraturan maupun tak beraturan) atau dalam gerak rotasi. Keliling lingkaran = $2\pi \times$ radius, gerakan melingkar dalam 1 putaran = 2π radian.

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

$$1 \text{ rad} = \frac{360}{2} = 57,3^\circ$$

FREKUENSI DAN PERIODA DALAM GERAK MELINGKAR BERATURAN

Waktu yang diperlukan P untuk satu kali berputar mengelilingi lingkaran di sebut waktu edar atau perioda dan diberi notasi T. Banyaknya putaran per detik disebut Frekuensi dan diberi notasi f. Satuan frekuensi ialah Herz atau cps (*cycle per second*). Jadi antara f dan T kita dapatkan hubungan:

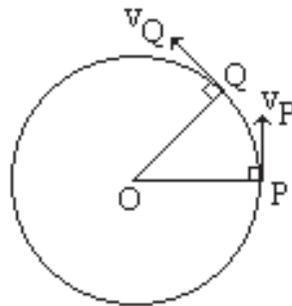
$$f \cdot T = 1, \quad f = \frac{1}{T}$$

Fase 4: Develop and Present Artifacts and Exhibits

Pada fase 4 ini masing-masing kelompok mahasiswa diharapkan mampu mempresentasikan hasil investigasi dan analisis yang diperoleh serta mendiskusikan materi GMB dengan kelompok yang lain. Salah satu dari anggota masing-masing kelompok dipilih sebagai juru bicara untuk presentasi, sedangkan salah seorang lainnya menjadi moderator untuk memimpin jalannya diskusi kelas.

A. PENGERTIAN GERAK MELINGKAR BERATURAN

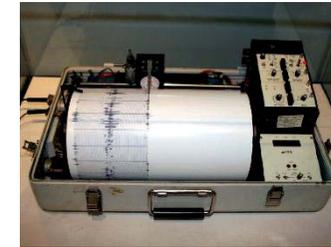
Jika sebuah benda bergerak dengan kelajuan konstan pada suatu lingkaran (disekeliling lingkaran), maka dikatakan bahwa benda tersebut melakukan gerak melingkar beraturan.



Kecepatan pada gerak melingkar beraturan besarnya selalu tetap namun arahnya selalu berubah, arah kecepatan selalu menyinggung lingkaran, maka v selalu tegak lurus garis yang ditarik melalui pusat lingkaran ke sekeliling lingkaran tersebut.

PENGERTIAN RADIAN

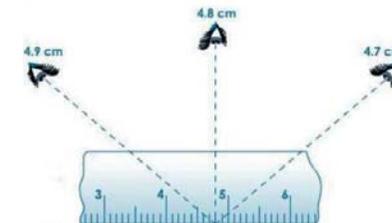
1 (satu) radian adalah besarnya sudut tengah lingkaran yang panjang busurnya sama dengan jari-jarinya.



Gambar 1.3 Pengukuran Gempa Oleh Seismometer

KETIDAKPASTIAN PENGAMATAN

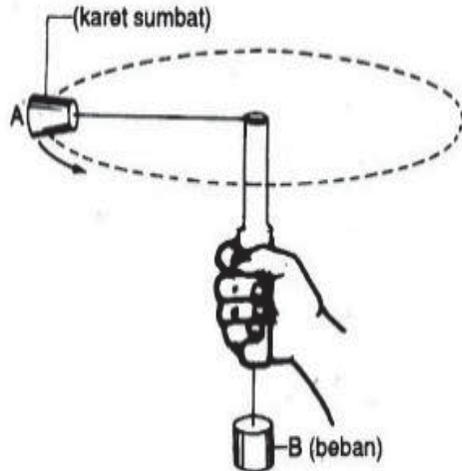
Ketidakpastian pengamatan merupakan ketidakpastian pengukuran yang bersumber dari kekurangterampilan manusia saat melakukan kegiatan pengukuran. Misalnya: metode pembacaan skala tidak tegak lurus (*paralaks*), salah dalam membaca skala, dan pengaturan atau pengesetan alat ukur yang kurang tepat.



Gambar 1.4 Pengaturan Alat Ukur

Bila yang mengoperasikan tidak terampil, semakin banyak yang harus diatur semakin besar kemungkinan untuk melakukan kesalahan sehingga memproduksi ketidakpastian yang besar pula.

- 3) Penggaris 1 buah/kelompok
 - 4) Neraca/timbangan 1 buah/kelompok
 - 5) *Stopwatch* 1 buah/kelompok
 - 6) Pipa 1 buah/kelompok
 - 7) Benang (Tali) 1 buah/kelompok
- b. Cara Kerja
- 1) Siapkan alat dan bahan percobaan
 - 2) Menimbang beban A dan B dengan neraca
 - 3) Mengikat beban A pada salah satu ujung dan beban B pada ujung yang lain. Benang melalui pipa alat seperti pada gambar berikut.

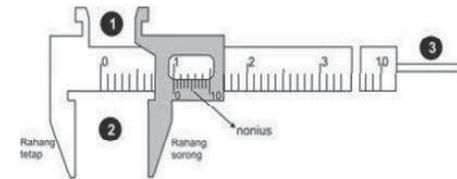


Gambar 4.4. Susunan percobaan GMB

- 4) Menentukan jari-jari lintasan yang diharapkan (misalnya 20 cm), yaitu dengan mengukur panjang benang dari beban A menuju pipa bagian atas kemudian memberi tanda titik pada bagian bawah pipa.
- 5) Putar beban A (tangan memegang pipa) hingga tanda titik tepat di ujung pipa bagian bawah seperti gambar di atas dan benda mencapai laju tetap (gerak melingkar

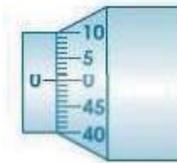
SKALA TERKECIL JANGKA SORONG

Skala terkecil jangka sorong bergantung pada pembagian skala nonius. Hasil ini dapat dilihat pada rahang geser, perhatikan Gambar 1.6. Skala terkecil jangka sorong adalah 0,1 mm. Bila pada rahang geser terdapat 11 garis/strip, berarti setiap 1 mm skala utama dibagi menjadi 10 skala nonius. Berarti skala terkecil nonius = 1 mm : 10 = 0,1 mm. Pada jangka sorong model demikian memang benar bahwa skala terkecilnya 0,1 mm. Tetapi di pasaran sudah banyak diproduksi jangka sorong dengan jumlah garis/ strip pada rahang geser lebih banyak, misalnya dibuat 21 strip. Berarti 1 mm skala utama dibagi 20 skala nonius. Pada jangka sorong model demikian skala terkecilnya = 1 mm : 20 = 0,05 mm.



Gambar 1.6 Skala jangka sorong dengan skala nonius 0,1 mm

SKALA TERKECIL MIKROMETER SEKRUP



Gambar 1.7 Nonius mikrometer sekrup dengan 50 skala (1 putaran) untuk 0,5 mm. Jadi skala terkecil 0,01 mm

Sebagaimana pada jangka sorong, skala terkecil mikrometer sekrup tidak disarankan untuk dihafalkan, karena bergantung pada pembagian skala utama oleh skala nonius pada rahang putarnya. Perhatikan **Gambar 1.7**, rahang putar

mikrometer sekrup membagi 1 mm skala utama menjadi 100 skala nonius (diperoleh dari 2 putaran x 50 skala nonius). Berarti skala terkecil mikrometer sekrup tersebut = $1 \text{ mm} : 100 = 0,01 \text{ mm}$

ANGKA PENTING

Panjang benda tersebut pasti melebihi 2,5 cm, dan jika skala tersebut kita perhatikan lebih cermat, ujung benda berada kira-kira di tengah-tengah skala 2,5 cm dan 2,6 cm. Kalau kita mengikuti aturan penulisan hasil pengukuran hingga setengah skala terkecil, panjang benda dapat dituliskan 2,55 cm.

Angka terakhir (angka 5) merupakan angka taksiran, karena terbacanya angka tersebut hanyalah dari hasil menaksir atau memperkirakan saja. Berarti hasil pengukuran 2,55 cm terdiri dari dua angka pasti, yaitu angka 2 dan 5, dan satu angka taksiran yaitu angka 5. Angka-angka hasil pengukuran yang terdiri dari angka pasti dan angka taksiran disebut *angka penting*. Bila logam di atas diukur dengan jangka sorong atau mikrometer sekrup, jumlah angka penting yang diperoleh makin banyak atau makin sedikit? Mengapa?

Seandainya tepi benda itu berada tepat pada garis 2,5 cm, hasil pengukuran harus ditulis 2,50 cm bukan 2,5 cm? Mengapa? Penulisan angka nol pada 2,50 cm menunjukkan bahwa hasil pengukurannya tidak kurang dan tidak lebih dari 2,5 cm dan angka 5 masih merupakan angka pasti. Bila hanya ditulis 2,5 cm, maka angka 5 merupakan angka taksiran. Karena memberikan informasi atau makna tertentu, maka angka nol pada 2,50 termasuk angka penting.

Penulisan angka nol pada angka penting, ternyata memberikan implikasi yang amat berharga. Untuk mengidentifikasi apakah suatu angka termasuk angka penting atau bukan, dapat diikuti beberapa kriteria di bawah ini:

- a. Semua angka bukan nol termasuk angka penting.
Contoh: 2,45 memiliki 3 angka penting

Fase 3: Assist independent and group investigation

Pada fase 3 ini, mahasiswa melakukan investigasi individu dan kelompok sehingga mahasiswa diharapkan mampu menentukan tujuan percobaan, menyiapkan alat dan bahan, menyusun cara kerja, dan mengumpulkan data yang diperlukan tentang gerak melingkar beraturan.

Kegiatan Penyelidikan

1. Percobaan GMB

A. Indikator/Tujuan

Mahasiswa dapat memecahkan masalah gerak melingkar menggunakan formulasi penyelesaian masalah prosedural pada kehidupan sehari-hari.

Merumuskan Masalah/Pertanyaan Penelitian

.....

Merumuskan hipotesis

.....

Mengumpulkan data

- a. Alat dan Bahan
 - 1) Beban karet (A) 1 buah/kelompok
 - 2) Beban kuning (B) 1 buah/kelompok

Fase 2: Organize Students For Study

Pada fase 2 ini, dosen memfasilitasi mahasiswa sehingga diharapkan mampu mengidentifikasi variabel-variabel, dan merumuskan hipotesis tentang gerak melingkar beraturan.

Variabel-variabel yang ada pada materi gerak melingkar beraturan ini adalah:

- Variabel bebas: -----
-
- Variabel terikat: -----

Berdasarkan rumusan masalah dan identifikasi variabel, maka dapat diajukan hipotesis sebagai berikut.

1. -----

2. -----

- b. Semua angka nol yang tertulis setelah titik desimal termasuk angka penting.
Contoh: 2,50 memiliki 3 angka penting 16,00 memiliki 4 angka penting
- c. Angka nol yang tertulis di antara angka – angka penting (angka-angka bukan nol), juga termasuk angka penting.
Contoh: 207 memiliki 3 angka penting 10,50 memiliki 4 angka penting.
- d. Angka nol yang tertulis sebelum angka bukan nol dan hanya berfungsi sebagai penunjuk titik desimal, tidak termasuk angka penting.
Contoh: 0,5 memiliki 1 angka penting 0,0860 memiliki 3 angka penting

Hasil pengukuran 186.000 meter memiliki berapa angka penting? Sulit untuk menjawab pertanyaan ini. Angka 6 mungkin angka taksiran dan tiga angka nol di belakangnya menunjukkan titik desimal. Tetapi dapat pula semua angka tersebut merupakan hasil pengukuran. Ada dua cara untuk memecahkan kesulitan ini. *Pertama:* titik desimal diubah menjadi satuan, diperoleh 186 km (terdiri 3 angka penting) atau 186,000 km (terdiri 6 angka penting). *Kedua:* ditulis dalam bentuk notasi baku, yaitu $1,86 \times 10^5$ m (terdiri 3 angka penting) atau $1,86000 \times 10^5$ m (terdiri 6 angka penting).

Jumlah angka penting dalam penulisan hasil pengukuran dapat dijadikan indikator tingkat ketelitian pengukuran yang dilakukan.

PERHITUNGAN DENGAN ANGKA PENTING

Setelah mencatat hasil pengukuran dengan tepat, diperoleh data-data kuantitatif yang mengandung sejumlah angka-angka penting. Sering kali, angka-angka tersebut harus dijumlahkan, dikurangkan, dibagi, atau dikalikan. Ketika kita mengoperasikan angka-angka penting hasil pengukuran, jangan

lupa hasil yang kita dapatkan melalui perhitungan tidak mungkin memiliki ketelitian melebihi ketelitian hasil penukuran.

PENJUMLAHAN DAN PENGUKURAN

Bila angka-angka penting dijumlahkan atau dikurangkan, maka hasil penjumlahan atau pengurangan tersebut memiliki ketelitian sama dengan ketelitian angka-angka yang dijumlahkan atau dikurangkan, *yang paling tidak teliti*.

Contoh:

$$\begin{array}{r}
 24,681 \quad \Rightarrow \text{ketelitian hingga seperseribu} \\
 2,34 \quad \Rightarrow \text{ketelitian hingga seperseratus} \\
 3,2 \quad + \quad \Rightarrow \text{ketelitian hingga sepersepuluh} \\
 \hline
 30,221
 \end{array}$$

Penulisan hasil yang benar adalah 30,2 ketelitian hingga sepersepuluh. Bila jawaban ditulis 30,22, ketelitiannya hingga seperseratus. Hal ini menunjukkan hasil perhitungan lebih teliti dibanding hasil pengukuran, karena hasil pengukuran yang dijumlahkan ada yang ketelitiannya hanya sampai sepersepuluh, yaitu 3,2. *Apakah mungkin?* Apalagi bila hasil perhitungan ditulis 30,221, berarti ketelitian hasil perhitungan hingga seperseribu.

PERKALIAN DAN PEMBAGIAN

Bila angka-angka penting dibagi atau dikalikan, maka jumlah angka penting pada hasil operasi pembagian atau perkalian tersebut paling banyak sama dengan jumlah angka penting terkecil dari bilangan yang dioperasikan.

Contoh:

pembelajaran selanjutnya dengan semangat dan pemahaman yang benar. Tetapi bila tidak sama, maka mahasiswa dapat mencoba dan melakukan kembali simulasi dengan usaha yang lebih sungguh-sungguh sehingga mahasiswa dapat memahami perbedaan yang terjadi sebelum menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase berikutnya.

Berdasarkan masalah autentik tersebut, mahasiswa dapat merumuskan masalah yang berkaitan dengan percobaan gerak melingkar beraturan, yaitu:

1.
2.

Tujuan pembelajaran dalam percobaan gerak melingkar beraturan ini adalah:

1.
2.

Gerak Melingkar Beraturan

Fase 1: Orient Students to the Problem

Penerapan pembelajaran model *PBL* pada fase 1 ini, mahasiswa dihadapkan pada masalah yang bersifat autentik tentang materi Gerak Melingkar Beraturan. Pada fase ini, mahasiswa diharapkan mampu menggunakan dan mengembangkan kemampuan dasar yang dimilikinya untuk menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah dan mengidentifikasi variabel.



Gambar 4.3. Perbedaan Kecepatan Linear

jari 10 cm dengan perbedaan ukuran jari-jari tersebut, bagaimana kecepatan yang dialami kedua roda? Bagaimana pengaruh ukuran jari-jari yang digunakan terhadap kecepatan linier?

Dari masalah autentik tersebut, apakah mahasiswa menemukan hasil yang sama antara fenomena yang diamati dengan hasil simulasi yang dilakukan? Bila ternyata sama, maka mahasiswa dapat menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase

Masalah Autentik:

Anda sedang bermain sepeda antik yang mempunyai ukuran jari-jari yang berbeda. Roda depan mempunyai ukuran jari-jari 40 cm dan roda belakang mempunyai ukuran jari-

$$3,22 \text{ cm} \times 2,1 \text{ cm} = 6,762 \text{ cm}^2, \quad \text{ditulis } 6,8 \text{ cm}^2$$

3 angka penting

2 angka penting

2 angka penting

ATURAN PEMBULATAN ANGKA-ANGKA PENTING

Sebagaimana telah didiskusikan pada bagian sebelumnya, perhitungan yang melibatkan angka penting tidak dapat diperlakukan sama matematik biasa. Ada beberapa rambu yang harus diperhatikan, sehingga hasil perhitungannya tidak memiliki ketelitian melebihi ketelitian hasil pengukuran yang dioperasikan. Mengapa? Karena hal yang demikian jelas tidak mungkin.

Kita ambil kembali contoh penjumlahan dan perkalian sebelumnya;

$$24,681 + 2,343 + 3,21 = 30,234 \quad \text{ditulis } 30,23$$

$$3,22 \times 2,1 = 6,762 \quad \text{ditulis } 6,8$$

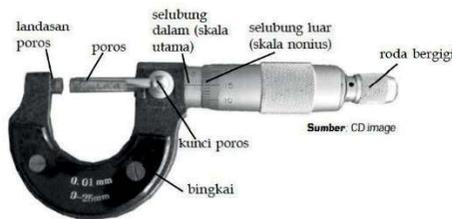
Mengapa pada hasil penjumlahan nilai 0,004 dihilangkan, sedangkan pada hasil perkalian nilai 0,062 dibulatkan menjadi 0,1? Untuk membulatkan angka-angka penting, ada beberapa aturan yang harus kita ikuti:

- Angka kurang dari 5, dibulatkan ke bawah (ditiadakan)
Contoh: 12,74 dibulatkan menjadi 12,7
- Angka lebih dari 5, dibulatkan ke atas
Contoh: 12,78 dibulatkan menjadi 12,8
- Angka 5, dibulatkan ke atas bila angka sebelumnya ganjil dan ditiadakan bila angka sebelumnya genap.
Contoh: 12,75 dibulatkan menjadi 12,8 12,65 dibulatkan menjadi 12,6

BEBERAPA ALAT UKUR

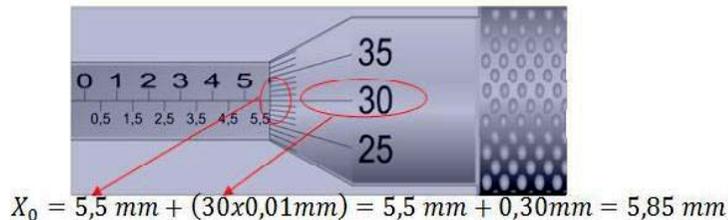
MIKROMETER SEKRUP

Mikrometer sekrup dapat digunakan untuk mengukur panjang benda (termasuk ketebalan dan diameter benda berbentuk bola) dengan hasil relatif presisi. Sebelum melakukan pengukuran menggunakan mikrometer sekrup, pahami dahulu bagian-bagian dari mikrometer sekrup beserta fungsinya, dan yakinkan bahwa Anda dapat membaca skala yang ditunjukkan mikrometer sekrup secara cermat dan benar.



Gambar 1.8 Mikrometer sekrup dan bagian-bagian utamanya

Pembacaan skala pada mikrometer sekrup, seperti terlihat pada Gambar 1.10 di bawah ini.



Gambar 1.9 Pembacaan skala pada mikrometer sekrup

Untuk mengukur besaran panjang menggunakan mikrometer sekrup, ikutilah prosedur di bawah ini.

Komponen radial juga biasa disebut komponen normal/sentripetal, sedangkan komponen tangensial disebut dengan komponen linier.

Percepatan benda dalam bergerak menjadi,

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_r}{\Delta t} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_t}{\Delta t} = \vec{a}_r + \vec{a}_t$$

Karena kecepatan tangensial/linier searah dengan garis singgung lintasan, maka percepatan linier/tangensial menjadi,

$$\vec{a}_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_t}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{s}}{dt^2}$$

Sedangkan percepatan radial/sentripetal/normal adalah:

$$\vec{a}_r = \frac{v^2}{R}$$

Berikut pemaparan gerak lengkung yang istimewa, yaitu gerak melingkar dan gerak parabola.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Tujuan

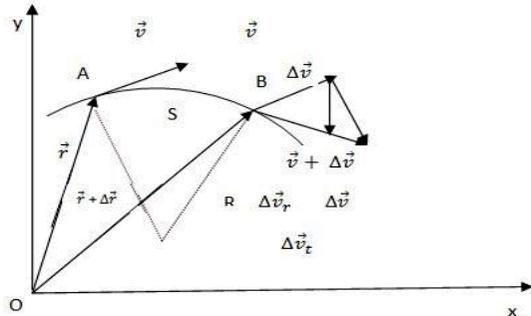
Setelah mempelajari konsep sistem Satuan dan pengukuran ini mahasiswa dapat:

1. Menguasai konsep kinematika gerak melingkar berubah beraturan: kecepatan sudut, kecepatan Tangensial, percepatan sentripetal/radial, dan percepatan tangensial.
2. Mengaplikasikannya persamaan gerak melingkar untuk pada suatu benda.
3. Memecahkan masalah gerak melingkar menggunakan keterampilan berfikir kritis.

Kecepatan benda tersebut berubah dari \vec{v} menjadi $\vec{v} + \Delta\vec{v}$, sehingga perubahan kecepatan gerak sebesar $\Delta\vec{v}$. Perubahan kecepatan tersebut secara vektor dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu

komponen radial (r) yang arahnya menuju pusat lengkungan dan komponen tangensial (t) yang arahnya menyinggung lintasan. Perubahan kecepatan tersebut secara vektor dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu komponen radial (r) yang arahnya menuju pusat lengkungan dan komponen tangensial (t) yang arahnya menyinggung lintasan. Secara matematis,

$$\Delta\vec{v} = \Delta\vec{v}_r + \Delta\vec{v}_t$$

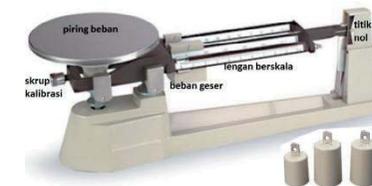


Gambar 4.2 Kecepatan benda dalam gerak lengkung datar

- i. Letakkan benda di antara kedua poros penjepit, kemudian putarlah silinder pemutar perlahan-lahan hingga ujung kedua poros menyentuh permukaan benda, seperti terlihat pada Gambar 1.7.
- ii. Setelah ujung kedua poros menyentuh permukaan benda, putarlah sekrup pemutar (*ratchet*) secara perlahan-lahan hingga terdengar bunyi “klik”. Bunyi itu menandakan bahwa kedua ujung poros telah menjepit benda secara akurat. *Perhatian:* jangan memaksa menggerakkan poros penjepit menggunakan silinder pemutar ketika ujung poros telah menjepit benda, hal ini dapat merusak sistem ulir di dalam mikrometer sekrup.
Tebal plat/kertas = mm
- iii. Bacalah skala yang ditunjukkan oleh mikrometer sekrup, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.7. dan catatlah hasilnya.

NERACA LENGAN

Neraca lengan seringkali disebut neraca Ohaus. Sebelum melakukan pengukuran massa menggunakan neraca lengan, pahami dahulu bagian-bagian neraca lengan beserta fungsinya, Gambar 1.10. Selain itu, Anda harus dapat membaca skala yang ditunjukkan neraca lengan secara cermat dan benar.



Gambar 1.10 Neraca lengan dan bagian-bagian utamanya

Contoh pembacaan skala pada neraca lengan ditunjukkan pada Gambar 1.12. Pada contoh ini, hasil pengukuran massa benda adalah $100\text{ g} + 90\text{ g} + 7,5\text{ g} = 197,5\text{ g}$. Untuk

mengukur massa benda dengan menggunakan neraca lengan, ikutilah prosedur di bawah ini.

- i. Pastikan dahulu bahwa neraca dalam keadaan setimbang. Bila belum setimbang, buatlah setimbang dulu dengan cara memutar sekrup penyeimbang/pengenol.
- ii. Letakkan benda di atas piring neraca. *Perhatian:* untuk benda cair atau benda yang bersifat korosif, sebelum diletakkan di atas piring neraca, masukkan terlebih dahulu ke dalam wadah tertentu.
- iii. Geserlah anak timbangan, dimulai dari yang paling besar, berikutnya yang kecil-kecil, hingga neraca setimbang kembali.
- iv. Bacalah skala yang ditunjukkan oleh neraca, seperti ditunjukkan pada Gambar-11 dan catatlah hasilnya.
Massa benda = gram

STOPWATCH

Stopwatch digunakan untuk mengukur selang waktu waktu. Sebelum melakukan pengukuran waktu menggunakan *stopwatch*, pahami dahulu bagian-bagian *stopwatch* beserta fungsinya, dan yakinkan bahwa Anda dapat membaca skala yang ditunjukkan *stopwatch* secara cermat dan benar.

Untuk mengukur waktu menggunakan *stopwatch*, ikutilah prosedur di bawah ini.

- i. Pastikan dahulu bahwa semua jarum *stopwatch* menunjuk pada angka nol. Bila belum, lakukan pengenalan dengan cara menekan tombol pengenol (biasanya berwarna hitam tombol tengah).
- ii. Ketika pengukuran dimulai, tekan tombol start (biasanya berwarna hijau tombol kanan).
- iii. Ketika pengukuran selesai, tekan tombol stop (biasanya berwarna merah, tombol kiri).
- iv. Bacalah skala yang ditunjuk oleh *stopwatch*, mulailah dengan penunjukkan jarum menit kemudian jarum detik/ sekon.



Gambar 4.1. Bola tendangan pemain bergerak dalam lintasan lengkung berupa parabola

Benda yang bergerak tidak akan bergerak lurus lagi bila percepatan dan kecepatan benda tidak searah/segaris. Hal ini menyebabkan lintasan gerakan benda menjadi melengkung. Lintasan lengkung yang istimewa adalah lingkaran dan parabola. Berikut akan dipaparkan gerak lengkung datar, gerak melingkar, baik gerak melingkar beraturan maupun gerak melingkar tak beraturan, dan gerak parabola/trayektori. Lengkung Datar.

Gerak Lengkung Datar

Dalam gerakan ini lintasan benda berbentuk garis lengkung yang terletak pada bidang datar. Pada gambar 1.4. benda bergerak membentuk lintasan lengkung S dari titik A ke titik B, yang masing-masing kedudukannya terhadap pusat koordinat bidang datar di O dinyatakan dengan vektor \vec{r} dan $\vec{r} + \Delta\vec{r}$. misalkan garis lengkung lintasan benda S mempunyai radius kelengkungan R. Kecepatan sesaat benda dalam bergerak:

Pertemuan
IV

Gerak Melingkar



PENDAHULUAN

Pada bab sebelumnya, Anda telah mempelajari gerak dengan lintasan lurus. Dalam kenyataannya, lintasan gerak benda tidak mesti lurus. Sebagai contoh, ketika Anda menendang bola, mula-mula bola berada di tanah, kemudian bergerak dengan lintasan lengkung, dan akhirnya kembali lagi ke tanah. Seperti dalam bab sebelumnya, dalam bab ini Anda akan berlatih mendeskripsikan gerak lengkung dengan tiga cara: dengan kata-kata, dengan menggunakan persamaan-persamaan matematika, dan dengan menggunakan grafik. Untuk membahas gerak lengkung ini, kita perlu membahas dulu tentang besaran vektor. Selanjutnya Anda akan mempelajari dua kasus gerak lengkung yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari, yakni gerak peluru (gerak parabolik) dan gerak melingkar.

- Pembacaan dan penulisan jarum detik dapat dilkaukan hingga setengah skala terkecil.
- v. Sekarang mintalah teman Anda untuk membaca suatu paragraf tertentu, ukurlah berapa waktu yang dibutuhkan dengan mengikuti prosedur di atas.
 - vi. Waktu yang dibutuhkan = sekon



Gambar 1.1 Stopwatch dan bagian-bagian utamanya

Perhatian: untuk *stopwatch* manual yang bekerjanya dengan sistem spiral, jangan menyimpan *stopwatch* tersebut dalam keadaan spiral tertekan (putaran masih ada), karena akan mempercepat terjadinya kerusakan. Biarkan jarum memutar terus hingga energi yang tersimpan dalam spiral dalam spiral habis.

TERMOMETER

Termometer merupakan alat ukur yang relatif lebih mudah penggunaannya dibanding jangka sorong, mikrometer sekrup, neraca, dan stopwatch. Namun demikian Anda tetap harus paham bagian-bagiannya, hati-hati dalam bekerja, dan cermat dalam membaca skala. Perhatikan bagian-bagian termometer zat cair pada Gambar 1.12.

Contoh

Anda mengendarai sepeda motor dengan kecepatan 36,0 km/h ke timur. Selanjutnya dalam waktu 0,5 menit, kecepatan anda menjadi 90,0 km/h. Hitung percepatan rata-rata Anda dalam satuan m/s².

Penyelesaian

$$v_1 = 36,0 \text{ km / h} = 36,0 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10,0 \text{ m / s}$$

$$v_2 = 90,0 \text{ km / h} = 90,0 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25,0 \text{ m / s}$$

$$\Delta t = 0,5 \text{ men} = 30 \text{ s. Maka}$$

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{25,0 - 10,0}{30} \text{ m / s}^2 = 0,5 \text{ m / s}^2$$

PERCEPATAN SESAAT

Percepatan sesaat didefinisikan dengan cara serupa dengan kecepatan sesaat. Dalam hal ini, percepatan sesaat adalah harga percepatan rata-rata saat selang waktunya dekat sekali dengan nol. Jadi *percepatan sesaat (pada saat tertentu) merupakan gradien garis singgung grafik kecepatan terhadap waktu.*

Contoh

Dibawah ini memperlihatkan grafik kecepatan terhadap waktu dari sprinter selama menempuh lomba lari 100 m. Carilah percepatan rerata untuk selang waktu (a) 0,0 s hingga 1,0 s, (b) 2,0 s hingga 4,0 s. (c) Carilah percepatan saat $t = 1 \text{ s}$.

Self Regulation

Setelah Anda mempelajari materi pada pertemuan ini, buatlah pertanyaan pada diri sendiri: konsep-konsep dan keterampilan- keterampilan apa yang telah Anda kuasai? Adakah yang belum Anda kuasai dengan baik? Bagaimanakah langkah Anda selanjutnya? Apakah Anda memiliki ide yang berkaitan dengan konsep-konsep atau keterampilan keterampilan dalam pertemuan ini? Tuliskan semuanya di sini!

Pertemuan
II

Kinematika Partikel



PENDAHULUAN

Gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak suatu benda yang menempuh lintasan garis lurus di mana dalam setiap selang waktu yang sama benda menempuh jarak yang sama. Pada gerak lurus beraturan kecepatan dimiliki benda tetap sedangkan percepatannya sama dengan nol. Gerak sebuah benda terlihat dari adanya perubahan kedudukan benda dari satu titik ke titik tertentu. Gerak sering diabaikan dimensinya (ukuran maupun bentuknya), rotasi, dan getarannya, tetapi massanya tidak diabaikan, sehingga benda tersebut diibaratkan sebagai sebuah titik. Gerak dapat ditemukan pada berbagai gejala alam, dari yang sederhana sampai dengan yang kompleks dan acak: gerak kereta api di sepanjang rel yang lurus, gerak amoeba, gerak saling menjauh di antara galaksi-galaksi, pergerakan bintang-bintang di langit, gerak planet dalam tata surya, gerak ikan di dalam air, gerak serbuk sari di dalam air.

Dari sekian banyak gerak tersebut, gerak amoeba barangkali gerak yang paling sulit untuk dipahami. Gerak amoeba tidak hanya meliputi gerak translasi dan rotasi melainkan juga gerak deformasi yakni melibatkan perubahan bentuk geometri tubuhnya. Gerak acak (Brown) sejauh ini secara matematis sudah dapat dirumuskan. Perumusan pertama kali dirumuskan oleh Thorvald N. Thiele tahun 1880 dan dilanjutkan oleh Louis Bachelier pada tahun 1900. Secara fisis gejala gerak Brown dijelaskan oleh Einstein pada tahun 1905

Apabila nilai t disubstitusikan ke dalam diatas, maka akan diperoleh formulasi berikut.

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

Salah satu contoh gerak lurus berubah beraturan adalah gerak jatuh bebas.

PERCEPATAN RERATA

Misalkan Anda mengendarai sepeda. Mula-mula sepeda tersebut diam, lalu bergerak makin lama makin cepat, artinya kecepatan sesaatnya semakin lama semakin besar. Seberapa cepat perubahan kecepatan sepeda tersebut? Untuk menggambarannya, kitadapat menggunakan tingkat perubahan kecepatan, yang disebut *percepatan*. Untuk benda yang bergerak makin lama makin cepat, kita mengatakan mobil itu mengalami percepatan. Sedangkan benda yang bergerak makin lambat, kita mengatakan bahwa benda tersebut mengalami perlambatan. **Percepatan** adalah tingkat perubahan kecepatan terhadap waktu. *Perlambatan* merupakan percepatan yang berharga negatif.

Sesuai dengan definisi percepatan di atas, percepatan rata-rata dirumuskan melalui hubungan

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Fase 4: Develop and Present Artifacts and Exhibits

Pada fase 4 ini masing-masing kelompok mahasiswa diharapkan mampu menguraikan hasil investigasi dan analisis yang diperoleh serta mendiskusikan materi

Kebanyakan gerak di dunia ini sangat rumit. Tetapi kita seringkali dapat menemukan alasan tepat untuk mendekati gerak yang rumit ini dengan model yang lebih sederhana. Salah satu jenis model untuk gerak lurus adalah **gerak lurus beraturan**, yakni apabila benda bergerak lurus dengan kecepatan tetap. Mobil yang bergerak lurus pada selang waktu tertentu memiliki kecepatan tetap, maka mobil itu dikatakan bergerak lurus beraturan.

Pada gerak ini jarak yang ditempuh benda tiap satu satuan waktu tidak sama besar, tapi arah gerak tetap. Karena nilai jarak tempuh tiap satu satuan waktu berbeda berarti ada perubahan kecepatan. Bila perubahan tersebut tetap maka perubahan kecepatan tersebut beraturan, artinya a tetap. Dapat diperoleh persamaan kecepatan melalui integrasi,

$$\int dv = \int a dt .$$

Karena a tetap, untuk batas integrasi dari $v_0 \rightarrow v$, dan dari $t_0 \rightarrow t$, serta bila $t_0 = 0$, akan diperoleh:

$$v = v_0 + at$$

Persamaan posisi benda diperoleh melalui digunakan diatas ke dalamnya dan mengintegrasikan persamaan tersebut untuk batas $x_0 \rightarrow x$ dan dari $t_0 \rightarrow t$, didapat:

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

sebagai akibat dorongan dari molekul-molekul air. Hal ini menunjukkan bahwa molekul-molekul air juga mengalami gerak acak. Sementara itu, gerak ikan di dalam air tergolong gerak hayati. Meskipun tidak sekompleks gerak amoeba, gerak ikan juga melibatkan deformasi yakni deformasi tubuh ikan. Meskipun demikian, gerak ikan dapat dimodelkan dengan beberapa gerak benda tegar yang tersambung. Pembicaraan gerak amoeba, gerak Brown, dan gerak ikan memerlukan peranti matematika yang tidak sederhana. Oleh karena itu, ketiga jenis gerak tersebut tidak akan dibicarakan di buku ini. Gerak saling menjauh di antara galaksi-galaksi merupakan akibat adanya pengembangan ruang alam semesta. Selain gerak sistematis akibat pengembangan alam semesta, galaksi-galaksi juga mengalami gerak sendiri, semisal rotasi.

Tujuan

Setelah mempelajari konsep sistem Satuan dan pengukuran ini mahasiswa dapat:

1. menentukan posisi benda dari titik acuan yang dipilih;
2. mendefinisikan kecepatan rerata, kelajuan rerata, dan kecepatan sesaat;
3. menghitung kecepatan rerata dari data perpindahan dan selang waktu;
4. menghitung perpindahan dari data kecepatan dan waktu
5. menghitung perpindahan dari grafik kecepatan terhadap waktu.

Gerak (translasi) sebuah benda titik dipahami sebagai perubahan posisi benda itu. Sebuah benda dikatakan sebagai benda titik apabila ukuran benda itu dapat diabaikan, yakni ketika ukuran benda itu jauh lebih kecil daripada jarak pergeseran yang ditempuhnya. Jarak Bumi dari Matahari sekitar 150.000.000

kilometer. Hal ini berarti bahwa Bumi menempuh jarak 942,5 juta kilometer dalam satu kali periode jika orbitnya dianggap lingkaran. Sementara jari-jari Bumi sekitar 6370 kilometer. Terlihat bahwa ukuran Bumi jauh lebih kecil jika dibandingkan

dengan jarak yang ditempuh olehnya selama satu periode. Oleh karena itu, Bumi dapat dipandang sebagai benda titik. Beberapa benda titik membentuk sistem benda titik. Gerakan benda-benda titik sebagai keseluruhan disebut sebagai gerak sistem benda titik. Gerak sistem benda titik disebut gerak benda tegar apabila jarak antar benda titik tidak berubah. Sementara, jika jarak antara benda titik di dalam sistem benda titik yang bergerak mengalami perubahan, gerak sistem benda titik tersebut disebut gerak dengan deformasi. Tentang gerak benda tegar dan gerak benda dengan deformasi lebih rinci dapat dibaca pada bab Gerak Benda Tegar dan dalam buku ini. Sementara pada bagian ini, kita hanya akan mempelajari gerak benda titik.

Gerak translasi benda titik dinamakan berdasarkan bentuk lintasan yang dilaluinya. Oleh karena itu, orang mengenal adanya gerak lurus, gerak melingkar, dan gerak parabola yang keseluruhannya merupakan gerak elips. Gerak elips merupakan gerak pada bidang karena lintasannya berada pada satu bidang. Ada pula gerak dengan lintasan berupa spiral. Gerak ini bukan merupakan gerak pada bidang, melainkan merupakan gerak dalam ruang.

Dalam bagian ini, kita akan membicarakan gerak tanpa meninjau penyebabnya. Cabang mekanika yang membicarakan gerak translasi tanpa meninjau penyebabnya disebut kinematika. Pembicaraan kinematika translasi hendak dimulai dengan pembicaraan tentang kerangka acuan dan vektor posisi. Kerangka acuan merupakan hal yang paling penting untuk disepakati sebelum pembicaraan tentang gerak. Selanjutnya akan dibicarakan konsep kecepatan yaitu, laju perubahan posisi dan konsep percepatan.

- 5) Hubungkan pewaktu ketik dengan mobil-mobilan dan biarkan bergerak menuruni landasan sambil menarik pita ketik!
- 6) Guntinglah pita yang ditarik oleh mobil-mobilan, hanya ketika mobil-mobilan bergerak pada landasan miring!
- 7) Bagilah pita menjadi beberapa bagian, dengan setiap bagian terdiri atas 10 interval titik/ketikan!
- 8) Tempelkan setiap potongan pita secara berurutan ke samping!
- 9) Amati diagram yang Anda peroleh dari tempelan-tempelan pita tadi, kemudian tuliskan karakteristik dari gerak lurus beraturan!
- 10) Lengkapi tabel data hasil pengamatan berikut ini!

Tabel 3.1 Pengamatan

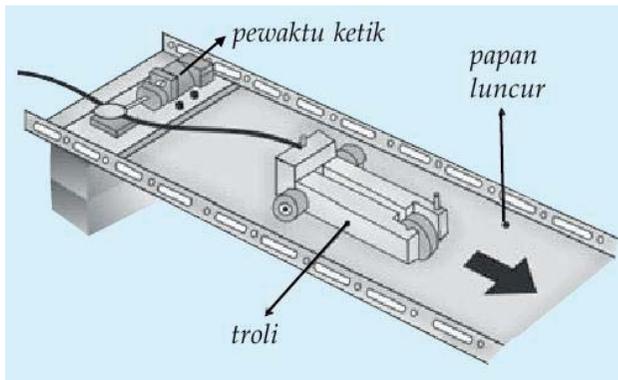
Interval ke-1	Interval ke-2	Interval ke-3

Menganalisis Data

Berdasarkan data hasil pengamatan setiap interval bandingkan titik/ketikan dari pita kertas pada percobaan GLBB.

Mengumpulkan data

- a. Alat dan Bahan
- | | |
|--|-----------------|
| 1) Pewaktu ketik (<i>ticker timer</i>) | 1 buah/kelompok |
| 2) Mobil-mobilan | 1 buah/kelompok |
| 3) Gunting | 1 buah/kelompok |
| 4) Papan peluncur | 1 buah/kelompok |
| 5) Beberapa buah batu bata | 1 buah/kelompok |
- b. Cara Kerja
- 1) Siapkan alat dan bahan percobaan.
 - 2) Buatlah sebuah landasan miring dengan menggajjal salah satu ujung papan dengan menggunakan batu bata.



Gambar 3.3. Susunan percobaan GLBB

- 3) Aturilah kemiringan landasan sedemikian rupa sehingga saat mobil-mobilan diletakkan di puncak landasan tepat meluncur ke bawah (jika mobil-mobilan meluncur makin lama makin cepat, maka kemiringan landasan harus dikurangi)!
- 4) Aturilah kemiringan landasan sedemikian rupa sehingga saat mobil-mobilan dapat meluncur (ingat, roda dan papan peluncur harus bersih dari debu)!

Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Fase 1: Orient Students to the Problem

Penerapan pembelajaran model *PBL* pada fase 1 ini, mahasiswa dihadapkan pada masalah yang bersifat autentik tentang materi Gerak Lurus Beraturan. Pada fase ini, mahasiswa diharapkan mampu menggunakan dan mengembangkan kemampuan dasar yang dimilikinya untuk menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah dan mengidentifikasi variabel.



Gambar 2.1. Car Free Day

Waktu tempuh 10 s berada pada posisi 50 m dengan, waktu tempuh 20 s berada pada posisi 100 m. Bagaimana pengaruh waktu yang digunakan terhadap kecepatan bergerak?

Masalah Autentik:

Anda mengikuti kegiatan *car free day* di jalan raya Darmo dengan panjang lintasan 100 m, kecepatan mengayuh sepeda sebanding dengan kecepatan sepeda bergerak.

Dari masalah autentik tersebut, apakah mahasiswa menemukan hasil yang sama antara fenomena yang diamati dengan hasil simulasi yang dilakukan? Bila ternyata sama, maka mahasiswa dapat menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase pembelajaran selanjutnya dengan semangat dan pemahaman

yang benar. Tetapi bila tidak sama, maka mahasiswa dapat mencoba dan melakukan kembali simulasi dengan usaha yang lebih bersungguh-sungguh sehingga mahasiswa dapat memahami perbedaan yang terjadi sebelum menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase berikutnya.

Berdasarkan masalah autentik tersebut, mahasiswa dapat merumuskan masalah yang berkaitan dengan percobaan gerak lurus beraturan, yaitu:

1.
2.
3.

Tujuan pembelajaran dalam percobaan gerak lurus beraturan ini adalah:

1.
2.
3.

Fase 2: Organize Students For Study

Pada fase 2 ini, dosen memfasilitasi mahasiswa sehingga diharapkan mampu mengidentifikasi variabel-variabel, dan merumuskan hipotesis tentang gerak lurus beraturan.

Variabel-variabel yang ada pada materi gerak lurus beraturan ini adalah:

Fase 3: Assist independent and group investigation

Pada fase 3 ini, mahasiswa melakukan investigasi individu dan kelompok sehingga mahasiswa diharapkan mampu menentukan tujuan percobaan, menyiapkan alat dan bahan, menyusun cara kerja, dan mengumpulkan data yang diperlukan tentang gerak lurus berubah beraturan.

Kegiatan Penyelidikan

1. Percobaan GLBB

A. Indikator/Tujuan

Mahasiswa dapat memecahkan masalah gerak lurus berubah beraturan menggunakan formulasi penyelesaian masalah pada kehidupan sehari-hari.

Merumuskan Masalah/Pertanyaan Penelitian

.....

.....

.....

.....

Merumuskan hipotesis

.....

.....

.....

.....

Fase 2: Organize Students For Study

Pada fase 2 ini, dosen memfasilitasi mahasiswa sehingga diharapkan mampu mengidentifikasi variabel-variabel, dan merumuskan hipotesis tentang gerak lurus berubah beraturan..

Variabel-variabel yang ada pada materi gerak lurus berubah beraturan dari aktivitas di atas adalah:

- Variabel bebas: -----
- Variabel terikat: -----

Berdasarkan rumusan masalah dan identifikasi variabel, maka dapat diajukan hipotesis sebagai berikut.

- Variabel bebas: -----
 -
- Variabel terikat: -----

Berdasarkan rumusan masalah dan identifikasi variabel, maka dapat diajukan hipotesis sebagai berikut.

1. -----

2. -----

3. -----

Fase 3: Assist independent and group investigation

Pada fase 3 ini, mahasiswa melakukan investigasi individu dan kelompok sehingga mahasiswa diharapkan mampu menentukan tujuan percobaan, menyiapkan alat dan bahan, menyusun cara kerja, dan mengumpulkan data yang diperlukan tentang pengukuran.

Kegiatan Penyelidikan Individu dan Kelompok

1. Percobaan gerak lurus beraturan

A. Indikator/Tujuan

- 1) Mahasiswa dapat melakukan penggambaran grafik dari gerak lurus beraturan suatu benda.
- 2) Mahasiswa dapat mengidentifikasi posisi, perpindahan, jarak, dan kecepatan suatu benda.

- 3) Mahasiswa dapat menggunakan persamaan gerak lurus beraturan pada suatu peristiwa di kehidupan sehari-hari.

Alat dan Bahan

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1) Mobil mainan | 1 buah/kelompok |
| 2) Kertas A3 | 1 buah/kelompok |
| 3) Penggaris | 1 buah/kelompok |
| 4) Penghapus | 1 buah/kelompok |

Cara Kerja

- 1) Siapkan alat dan bahan!
- 2) Buatlah gambaran perjalanan dalam peristiwa berikut dengan skala 1:200, mobil mainan berjalan lurus beraturan ke arah barat sejauh 30 m dalam waktu 60 sekon dan kemudian ke selatan sejauh 20 m dalam waktu 40 sekon!
- 3) Gambarlah pada kertas A3 dengan benar!
- 4) Berikan kesimpulan yang dialami mobil maninan ketika pada gerak lurus beraturan!

Pengayaan

- 1) Dari hasil data pengamatan percobaan di atas, gambarlah grafik dari gerak lurus beraturan posisi terhadap waktu, dan kecepatan terhadap waktu!
- 2) Identifikasilah posisi, perpindahan, jarak, dan kecepatan dari penggambaran yang telah dilakukan dan persamaannya.

B. Indikator/Tujuan

Mahasiswa dapat memecahkan masalah gerak lurus beraturan menggunakan formulasi penyelesaian masalah pada kehidupan sehari-hari.

Merumuskan Masalah/Pertanyaan Penelitian

yang benar. Tetapi bila tidak sama, maka mahasiswa dapat mencoba dan melakukan kembali simulasi dengan usaha yang lebih bersungguh-sungguh sehingga mahasiswa dapat memahami perbedaan yang terjadi sebelum menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase berikutnya.

Berdasarkan masalah autentik tersebut, mahasiswa dapat merumuskan masalah yang berkaitan dengan percobaan gerak lurus berubah beraturan, yaitu:

Tujuan pembelajaran dalam percobaan gerak lurus berubah beraturan ini adalah:

Gerak Lurus Berubah Beraturan

Fase 1: Orient Students to the Problem

Penerapan pembelajaran model *PBL* pada fase 1 ini, mahasiswa dihadapkan pada masalah yang bersifat autentik tentang materi gerak lurus berubah beraturan. Pada fase ini, mahasiswa diharapkan mampu menggunakan dan mengembangkan kemampuan dasar yang dimilikinya untuk menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah dan mengidentifikasi variabel.



Gambar 3.2. Perbedaan Waktu Tempuh

Masalah Autentik:

Pada kegiatan balap motor, pengendara A menggunakan motor Yamaha dan pengendara B menggunakan motor Suzuki dengan jarak lintasan yang sama.

Hasil balap motor yaitu Pengendara A mempunyai catatan waktu lebih sedikit dari pada pengendara B. Bagaimana pengaruh waktu yang digunakan terhadap kecepatan bergerak?

Dari masalah autentik tersebut, apakah mahasiswa menemukan hasil yang sama antara fenomena yang diamati dengan hasil simulasi yang dilakukan? Bila ternyata sama, maka mahasiswa dapat menentukan tujuan percobaan, merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan melanjutkan pada fase pembelajaran selanjutnya dengan semangat dan pemahaman

.....

.....

.....

.....

Merumuskan hipotesis

.....

.....

.....

.....

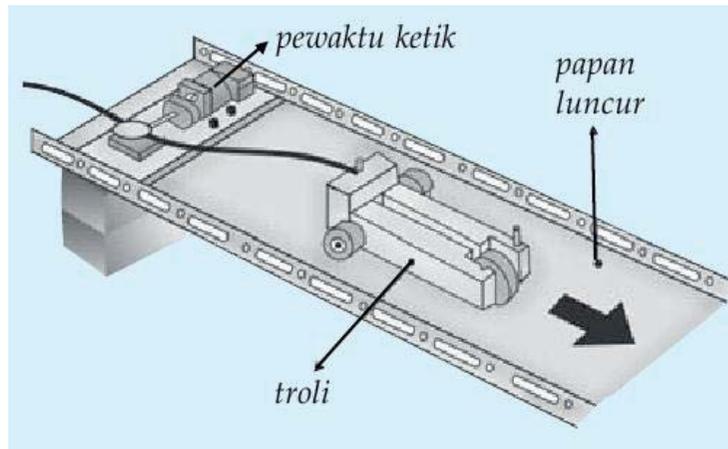
Mengumpulkan data

Alat dan Bahan:

- 1) Pewaktu ketik (*ticker timer*) 1 buah/kelompok
- 2) Mobil-mobilan 1 buah/kelompok
- 3) Gunting 1 buah/kelompok
- 4) Papan peluncur 1 buah/kelompok
- 5) Beberapa buah batu bata 1 buah/kelompok

Langkah Percobaan:

- 1) Siapkan alat dan bahan percobaan
- 2) Buatlah sebuah landasan miring dengan menggajjal salah satu ujung papan dengan menggunakan batu bata (perhatikan gambar di bawah ini)



Gambar 1. Susunan percobaan GLB

- 3) Aturilah kemiringan landasan sedemikian rupa sehingga saat mobil-mobilan diletakkan di puncak landasan tepat meluncur ke bawah (jika mobil-mobilan meluncur makin lama makin cepat, maka kemiringan landasan harus dikurangi)!
- 4) Hubungkan pewaktu ketik dengan mobil-mobilan dan biarkan bergerak menuruni landasan sambil menarik pita ketik!
- 5) Guntinglah pita yang ditarik oleh mobil-mobilan, hanya ketika mobil-mobilan bergerak pada landasan miring!
- 6) Bagilah pita menjadi 3 bagian, dengan setiap bagian terdiri atas 10 interval titik/ketikan!
- 7) Tempelkan setiap potongan pita secara berurutan ke samping!
- 8) Amati diagram yang Anda peroleh dari tempelan-tempelan pita tadi, kemudian tulislah karakteristik dari gerak lurus beraturan!
- 9) Buatlah Tabel hasil pengamatan setiap interval dan masukkan data Anda ke dalam tabel tersebut.

Bayangkan Anda mengendarai mobil. Mula-mula mobil tersebut diam, kemudian bergerak makin lama makin cepat. Sesampainya di jalan bebas hambatan, mobil itu bergerak dengan kecepatan tetap, dan selanjutnya makin pelan dan akhirnya berhenti. Anda perhatikan, pada saat melakukan gerak, benda seringkali tidak berada dalam kecepatan tetap, tapi kecepatannya berubah.

Tujuan

Setelah mempelajari konsep sistem Gerak lurus berubah beraturan ini mahasiswa dapat:

1. Mendefinisikan percepatan dan percepatan sesaat.
2. Menghitung percepatan rata-rata dari data kecepatan dan selang waktu.
3. Menghitung percepatan rata-rata dari grafik kecepatan terhadap waktu.
4. Menghitung besaran-besaran yang terlibat dalam gerak lurus berubah beraturan.

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah gerak benda dalam lintasan garis lurus dengan percepatan tetap. Jadi, ciri utama GLBB adalah bahwa dari waktu ke waktu kecepatan benda berubah, semakin lama semakin cepat. Dengan kata lain gerak benda dipercepat. Namun demikian, GLBB juga

dapat berarti bahwa dari waktu ke waktu kecepatan benda berubah, semakin lambat hingga akhirnya berhenti. Dalam hal ini benda mengalami perlambatan tetap. Dalam bab ini, kita tidak menggunakan istilah perlambatan untuk gerak benda diperlambat. Kita tetap saja menamakannya percepatan, hanya saja nilainya negatif. Jadi perlambatan sama dengan percepatan negatif.

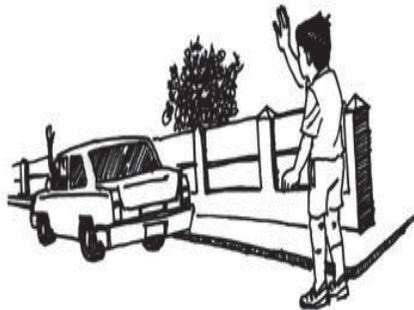
Pertemuan
III

Gerak Lurus Berubah Beraturan



PENDAHULUAN

Gerak sebuah benda terlihat dari adanya perubahan kedudukan benda dari satu titik ke titik tertentu. Gerak yang bergerak tersebut seringkali diabaikan dimensinya (ukuran maupun bentuknya), rotasi, dan getarannya, tetapi massanya tidak diabaikan, sehingga benda tersebut diibaratkan sebagai sebuah titik. Contohnya gerakan matahari dan planet, dimana benda-benda langit tersebut dianggap sebagai titik, sehingga gerakan bumi mengelilingi matahari dapat dipelajari dengan baik.



Gambar 3.1 Gerak berarti perubahan posisi benda

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan

Interval ke-1	Interval ke-2	Interval ke-3

Menganalisis Data

Berdasarkan data hasil pengamatan setiap interval bandingkan titik/ketikan dari pita kertas pada percobaan GLB.

semacam ini bukan hanya terjadi antara Galilei dan Gereja, akan tetapi hampir setiap peradaban mengenal perdebatan agung semacam itu. Namun, kita akan melihat bahwa perdebatan semacam itu sebenarnya tidak perlu terjadi karena gerak memang bersifat nisbi. Contoh-contoh tersebut memperlihatkan bahwa diperlukan suatu kesepakatan sebelum membicarakan gerak. Kesepakatan tersebut adalah tentang kerangka acuan untuk menentukan posisi benda yang bergerak. Kesepakatan mengenai kerangka acuan menyangkut penentuan titik nol (titik pangkal) dan sumbu koordinat.

Posisi suatu benda adalah besaran vektor, sehingga biasa disebut vektor posisi. Ujung vektor posisi menunjukkan titik atau posisi yang dimaksud oleh vektor posisi itu. Ciri khas vektor posisi adalah sifatnya yang bergantung pada titik pangkal. Dua vektor posisi yang arah dan besarnya sama tidak harus menunjuk posisi yang sama. Kedua vektor posisi itu menunjuk ke posisi yang sama apabila titik pangkalnya sama. Sebaliknya, sebuah titik atau posisi dapat pula ditunjuk oleh dua vektor posisi yang berbeda titik pangkalnya.

Suatu vektor posisi \vec{r} apabila dinyatakan dalam vektor-vektor satuannya, dalam ruang \mathbb{R}^3 dapat dituliskan sebagai:

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

Dengan $x\hat{i}, y\hat{j}$, dan $z\hat{k}$ disebut sebagai komponen vektor posisi \vec{r} . Letak partikel sepanjang masing-masing sumbu koordinat relatif terhadap pangkal koordinat diberikan oleh koefisien x, y , dan z . Sebagaimana telah pada pimanti Matematik, bahwa masing- masing $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ disebut sebagai vektor satuan, vektor-vektor basis yang sangat tegak lurus dan besarnya satu Satuan. Misalkan suatu partikel berada pada posisi \vec{r} relatif terhadap pangkal koordinat kartesian, maka dapat diuraikan komponen-komponennya pada Gambar 2.1.

Gambar 2-8. Grafik kecepatan terhadap waktu pada seorang pelari. Berapakah perpindahan pelari tersebut?

Penyelesaian: Perhatikan luasan (berbentuk persegi panjang) di bawah grafik Gambar 2.8b. Sisivertikal adalah kecepatan, $v = +260$ m/s.

a. Sisi horizontal adalah selang waktu. Untuk $t = 0$ s, luas persegi panjang di bawah garis grafik adalah:

$$v \times t = (+260 \text{ m/s}) \times (1,0 \text{ s}) = +260 \text{ m.}$$

Jadi perpindahan pesawat setelah 1,0 s adalah +260 m.

b. Pada akhir detik ke-3, luasan di bawah garis grafik adalah:

$$v \times t = (+260 \text{ m/s}) \times (3,0 \text{ s}) = +780 \text{ m.}$$

Jadi perpindahan pesawat setelah 3,0 s adalah +780 m.

Berdasarkan contoh di atas, Anda dapat menyatakan bahwa *luas di bawah garis grafik kecepatan terhadap waktu sama dengan perpindahan benda dari posisi asalnya ke posisi saat waktunya t.*

Fase 5: Analyze and Evaluate the Problem-Solving Process.

Pada fase 5 ini masing-masing mahasiswa diharapkan mampu membuat kesimpulan.

.....

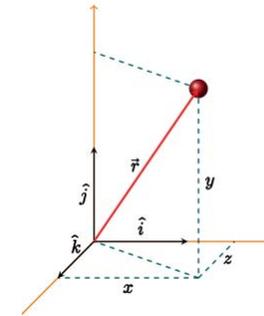
.....

.....

.....

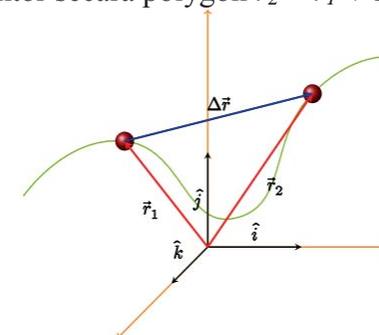
.....

.....



Gambar 2.1. Uraian vektor posisi suatu benda terhadap komponen-komponennya

Misalkan suatu kerangka acuan telah disepakati untuk meninjau gerak suatu benda. Perpindahan merupakan besaran vektor yang menunjukkan perubahan posisi dari satu waktu ke waktu yang lain. Dengan kata lain, perpindahan adalah selisih vektor antara posisi akhir dan posisi awal pada suatu selang waktu tertentu. Dengan kata lain, perpindahan adalah selisih vektor antara posisi akhir dan posisi awal pada suatu selang waktu tertentu. Apabila pada saat t_1 benda berada di r_1 kemudian pada saat t_2 benda berada pada r_2 , maka dapat dilihat pada Gambar 2.2 secara vektor, posisi r_2 dapat diperoleh dari penjumlahan vektor secara polygon $r_2 = r_1 + \Delta r$.



Gambar 2.2. Jarak versus perpindahan lintasan benda

Dengan demikian, perpindahan delta r dapat dituliskan sebagai

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \quad (2.2)$$

Sedangkan jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh benda dari posisi r_1 menuju posisi r_2 . Jarak merupakan besaran skalar dan dapat dihitung dengan menggunakan metode interval kurva. Misalkan benda berpindah dari posisi r menuju posisi $r + dr$. Vektor dr adalah vektor perpindahan yang besarnya mendekati nol. Benda mengalami perpindahan yang sangat kecil nilainya, maka jarak yang ditempuh benda untuk perpindahan yang sangat kecil tersebut tidak lain adalah panjang vektor dr .

$$|d\vec{r}| = \sqrt{d\vec{r} \cdot d\vec{r}} \quad (2.3)$$

Kita ketahui bahwa vektor dr dapat diuraikan berdasarkan komponen-komponen dari:

$$d\vec{r} = dx \hat{i} + dy \hat{j} + dz \hat{k}. \quad (2.4)$$

Dengan demikian, perkalian skalar antara vektor dr dengan dirinya sendiri, dapat dituliskan sebagai

$$d\vec{r} \cdot d\vec{r} = dx^2 + dy^2 + dz^2. \quad (2.5)$$

Oleh karena itu, persamaan jarak tempuh benda untuk perpindahan yang sangat kecil dapat dituliskan sebagai

$$d(\vec{r}, d\vec{r}) = |d\vec{r}| = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (2.6)$$

Dengan demikian, apabila benda bergerak dari posisi r_1 menuju r_2 , maka jaraknya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan potongan-potongan kecil jarak yang ditempuh benda tersebut. Penjumlahan secara *infinitesimal* tersebut dapat dilakukan dengan cara mengintegrasikan persamaan (2.6) dari r_1 hingga r_2 .

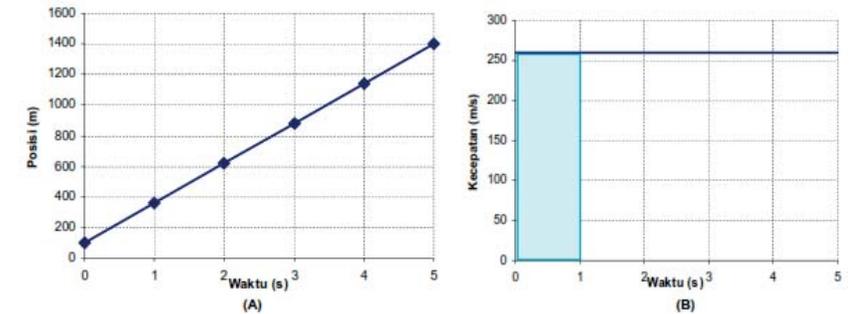
$$d(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}. \quad (2.7)$$

Dengan menggunakan sedikit trik aljabar, persamaan (2.7) dapat dikalikan dengan dx/dx ,

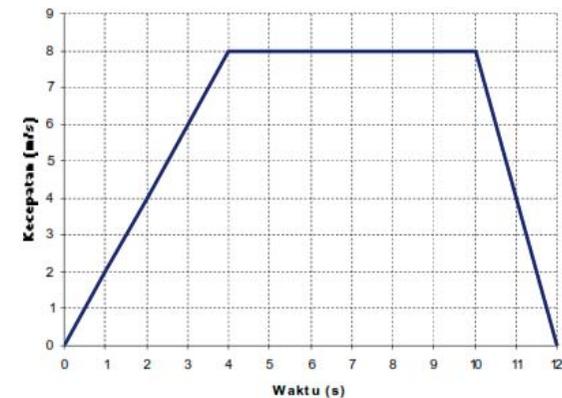
Bagaimana Anda menjelaskan gerak pelari pada Gambar 2.9? Tiap titik pada grafik tersebut menunjukkan kecepatan pelari pada saat tertentu. Selama 4 s pertama, kecepatan pelarimakin lama makin besar. Untuk 5 s selanjutnya, pelari tersebut berlari pada kecepatan tetap, 8m/s. Pada 2 s terakhir, gerak pelari tersebut makin lama makin pelan dan akhirnya berhenti.

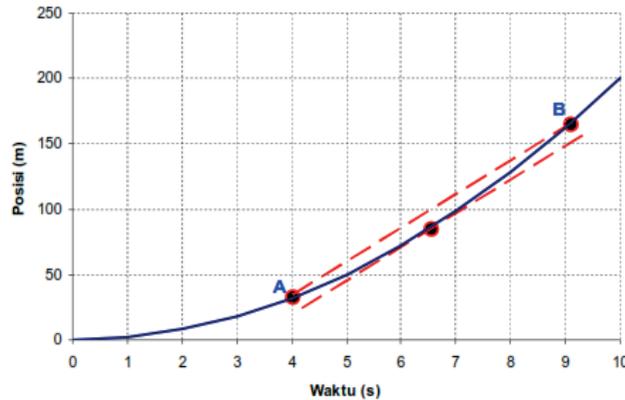
Contoh 2.3

Carilah perpindahan pesawat yang kecepatannya ditunjukkan dalam grafik Gambar 2-7b, setelah pesawat tersebut terbang selama (a) 1,0 s dan (b) 3,0 s.



Gambar 2.8. Grafik kecepatan terhadap waktu pada benda yang bergerak dengan kecepatan tetap, +260 m/s.





Gambar 2-7. Kecepatan rerata antara dua selang waktu

Sebagai contoh, jika kita berbicara tentang kecepatan rerata dari $t = 4$ s hingga $t = 9$ s pada Gambar 2.7, adalah gradien garis yang menghubungkan titik A dengan B. Kita dapat melanjutkan memperkecil selang waktu Δt , untuk mendapatkan kecepatan rerata pada selang waktu yang semakin kecil. Apabila Δt ini sedemikian kecilnya sehingga mendekati nol, maka kita mendapatkan *kecepatan sesaat*, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.76. Jadi jika selang waktu tersebut diperkecil, hingga mendekati nol, maka gradien garis singgung grafik pada titik tersebut menyatakan kecepatan sesaat. Kecepatan saat $t = 6,5$ s merupakan gradien garis singgung grafik pada $t = 6,5$ s.

GRAFIK KECEPATAN TERHADAP WAKTU

Grafik kecepatan terhadap waktu dapat digunakan untuk menggambarkan gerak benda, baik benda berkecepatan tetap maupun berubah. Untuk memberi gambaran pada kita, sekali lagi kita tampilkan grafik Gambar 2.7 pada Gambar 2.8a. Kecepatan rerata pada setiap selang waktu pada grafik tersebut adalah +260 m/s. Jika kita buat grafik kecepatan terhadap waktu, hasilnya seperti grafik Gambar 2.8b. Perhatikan bahwa setiap titik pada grafik tersebut memiliki ketinggian sama, karena kecepatannya tetap (konstan).

$$d(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \frac{dx}{dx} \quad (2.8)$$

maka $1/dx$ dapat masuk dalam tanda akar sehingga diperoleh persamaan jarak tempuh benda

$$d(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2} dx \quad (2.9)$$

Persamaan (4.10) di atas juga dapat dituliskan dalam bentuk

$$d(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} dy \quad (2.10)$$

dan

$$d(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dz}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dz}\right)^2} dz \quad (2.11)$$

B. POSISI, PERPINDAHAN, DAN JARAK

Di manakah letak suatu benda? Bagaimana kita dapat menyatakan letak itu? Gambar 2.3 memperlihatkan dua mobil di jalan raya. Di manakah letak mobil A? Untuk menjawabnya, kita buat skala pada gambar tersebut. Untuk menunjukkan letak mobil A, kita nyatakan letak tersebut terhadap posisi tertentu dalam skala, misalnya titik nol. Mobil A dengan titik nol terpisah 6,0 skala. Berarti mobil A terletak 6,0 skala di sebelah kanan titik nol. Bagaimanakah posisi mobil B? Dengan pemahaman yang sama, Anda dapat menyatakan bahwa mobil B terletak 2,0 skala di sebelah kiri titik nol.

Titik nol dalam Gambar 2.4 disebut **titik acuan**. Titik acuan tidak harus menggunakan titik nol. Anda dapat pula memilih mobil lain, suatu titik di sebelah kiri kedua mobil, atau

suatu titik diantara kedua mobil itu sebagai titik acuan. Posisi mobil A dengan titik acuan menjadi berbeda untuk setiap titik acuan yang Anda pilih. **Posisi** suatu benda menunjukkan kedudukan benda tersebut terhadap titik acuan tertentu. Pada koordinat Kartesian, posisi suatu benda ditunjukkan oleh koordinat benda tersebut. Untuk gerak pada sumbu- x , posisi ini adalah bilangan positif bila benda di sebelah kanan titik acuan, dan negatif apabila benda di sebelah kiri titik acuan.

Apabila sebuah benda bergerak, maka benda tersebut berubah posisinya dari waktu ke waktu. **Perpindahan** suatu benda didefinisikan sebagai perbedaan antara posisi akhir terhadap posisi awalnya. Perpindahan menyatakan perubahan posisi sebuah benda. Kita nyatakan perpindahan ini dengan Δx , yang dibaca “delta x ”. Perhatikan bahwa lambang tersebut tidak menyatakan delta kali x . Kita menggunakan lambang Δ untuk menunjukkan besar perubahan sebuah variabel dari satu nilai ke nilai yang lain. Untuk perpindahan ini kita dapat menyatakan.

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (2.12)$$

Dengan x_1 dan x_2 menunjukkan posisi awal dan posisi akhir. Posisi ini tidak mesti posisi partikel saat memulai gerakan dan saat mengakhiri gerakannya, tetapi posisi awal dan akhir gerak partikel *pada saat kita meninjaunya*.

Dalam percakapan sehari-hari kita lebih sering menggunakan kata jarak tempuh. **Jarak tempuh** suatu benda menyatakan panjang lintasan yang telah ditempuh benda tersebut. Perbedaan antara perpindahan dan jarak tempuh dapat diilustrasikan dengan contoh sederhana berikut ini.

Contoh 2.1

Mula-mula Anda berada 5,0 m di utara tiang bendera (tiang ini kita pakai sebagai titik acuan). Lalu Anda berjalan ke selatan, hingga akhirnya Anda berada di selatan tiang bendera sejauh 10,0 m. Anggap arah utara sebagai x positif dan selatan sebagai x negatif. Hitung perpindahan dan jarak tempuh Anda.

Gambar 2.6. Grafik posisi terhadap waktu pada sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan tetap.

Contoh 2.2

Apabila lama perjalanan Anda pada contoh 2.1 adalah 10,0 s, hitung kecepatan dan kelajuan reratanya.

Penyelesaian:

Sesuai dengan penyelesaian contoh 2.1, diperoleh $\Delta x = -15,0$ m dan jarak tempuh = 15,0 m. Sesuai dengan definisi kita, maka kecepatan rerata Anda adalah:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-15,0 \text{ m}}{10,0 \text{ s}} = -1,5 \text{ m/s}$$

Sedangkan kelajuan rerata Anda adalah

$$\text{kelajuan rerata} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\Delta t} = \frac{15,0 \text{ m}}{10,0 \text{ s}} = 1,5 \text{ m/s}$$

KECEPATAN SESAAT

Kecepatan rerata melibatkan selang waktu. Kita mempelajari lebih jauh tentang gerak, ketika selang waktu yang lebih kecil digunakan. Misalkan Anda mengendarai sepeda motor ke arah timur. Seperti yang Anda amati di speedometer, kelajuan Anda makin lama makin besar. Grafik kecepatan terhadap waktu gerak Anda ditunjukkan dalam grafik Gambar 2-7.

sedangkan selang waktu merupakan jarak pisah arah horisontal (Δx).
 Perbandingan antara perpindahan dengan selang waktu merupakan kecepatan rerata. Dalam grafik tersebut, kecepatan rerata adalah perbandingan Δy dengan Δx , atau gradien grafik tersebut.

Sebagai contoh, sesuai grafik Gambar 2.6, bila Anda memakai A sebagai titik awal dan F sebagai titik akhir maka

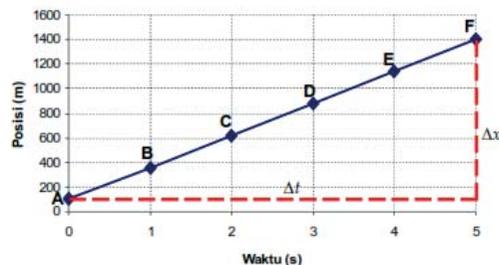
$$v_{av} = \text{gradien} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{1400 \text{ m} - 100 \text{ m}}{5 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{+1300 \text{ m}}{5 \text{ s}} = +260 \text{ m/s}$$

Bila Anda menghitung kecepatan rerata untuk tiap-tiap selang waktu, ternyata harganya sama. Benda tersebut dikatakan bergerak dengan kecepatan tetap.

Grafik posisi terhadap waktu pada sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan tetap dengan data sebagai mana ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Data Benda bergerak dengan kecepatan tetap.

waktu (s)	posisi (m)
0	100
1	360
2	620
3	880
4	1140
5	1400



Penyelesaian:

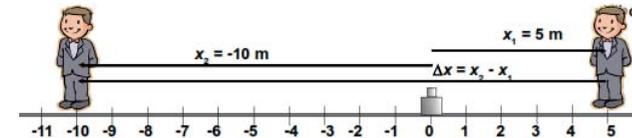
Sketsa lintasan Anda ditunjukkan dalam Gambar 2-2. Sesuai definisi, perpindahan Anda adalah:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = -10,0 \text{ m} - 5,0 \text{ m} = -15,0 \text{ m}.$$

(Apa arti tanda negatif ini?) Sedangkan jarak tempuh Anda adalah 15,0 m.



Gambar 2.3. Posisi dua mobil ini ditentukan oleh pemilihan titik acuan yang digunakan.



Gambar 2.4. Perpindahan dihitung dengan mengurangi posisi akhir dengan posisi awal.

C. KECEPATAN RERATA DAN KELAJUAN RERATA

Gambar 2.5 memperlihatkan serangkaian posisi mobil yang sedang bergerak (x) dan waktu pada posisi tersebut (t). Mula-mula ($t = 0 \text{ s}$) mobil berada pada posisi $x = 20 \text{ m}$. Pada detik ke-5, mobil berada pada posisi $x = 40 \text{ m}$. Posisi dan waktu untuk gerak mobil ini secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Posisi dan waktu

waktu, t, (s)	posisi, x, (m)
0,0	20
5,0	40
10,0	70
15,0	110

Angka-angka dalam tabel tersebut dapat digunakan untuk menemukan seberapa cepat mobil tersebut pada selang waktu tertentu. Perhatikan untuk 5 s pertama (dari 0,0 s hingga 5,0 s). Perpindahan mobil tersebut adalah $\Delta x = x - x = 40 \text{ m} - 20 \text{ m} = +20 \text{ m}$. Jika Anda menentukan *seberapa cepat* berpindahnya mobil tersebut, Anda dapat membagi perpindahan yang telah dilakukan mobil tersebut dengan selang waktu untuk perpindahannya, yakni $+20 \text{ m} / 5 \text{ s} = +4 \text{ m/s}$. Angka tersebut menyatakan *kecepatan rerata* mobil tersebut pada selang waktu 0,0 s sampai dengan 5,0 s. Sesuai arah gerak mobil, tanda positif menunjukkan gerak mobil ke kanan.

Kecepatan rerata sebuah benda yang bergerak didefinisikan sebagai hasil bagi perpindahannya dengan waktu yang diperlukan untuk perpindahan itu. Secara aljabar dinyatakan

$$v_{av} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2.13)$$

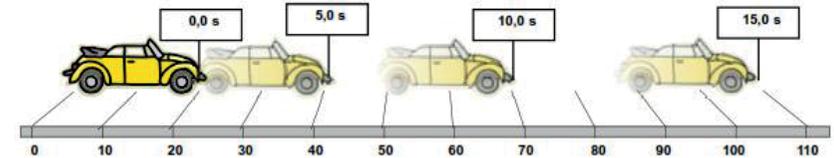
Satuan kecepatan rerata adalah meter per sekon (m/s) dalam sistem SI dan feet per sekon (ft/s) dalam sistem British. Satuan yang lain yang mungkin Anda temui adalah kilometer per jam (km/h) atau mil per jam (mi/h atau mph). Carilah kecepatan rerata mobil pada Gambar xx tersebut pada selang waktu selanjutnya.

Jika Anda mengendarai sepeda motor atau mobil, Anda dapat melihat besar kecepatan gerak Anda pada speedometer.

Besar kecepatan rerata disebut dengan **kelajuan rerata**. Karena hanya menyatakan besar (tanpa arah), maka kelajuan ini merupakan besaran skalar. Kelajuan rerata dinyatakan

$$\text{kelajuan rerata} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\Delta t} \quad (2.14)$$

Perhatikan bahwa kecepatan dan laju memiliki arti berbeda, seperti halnya perpindahan dan jarak tempuh.



Gambar 2.5. Perubahan posisi sebuah mobil untuk setiap selang waktu 5 sekon

GRAFIK POSISI TERHADAP WAKTU

Pada Tabel 2.2, Anda telah berlatih membuat grafik posisi terhadap waktu pada benda yang bergerak. Sekarang kita akan mendiskusikan lagi langkah-langkah tersebut. Grafik yang memperlihatkan bagaimana posisi benda bergantung pada waktu disebut **grafik posisi terhadap waktu**. Untuk membuat grafik tersebut, pertama Anda harus mendapatkan data posisi benda pada waktu-waktu tertentu. Sebagai contoh, tabel waktu dan posisi Gambar 2.6 didapat dari data gerak pesawat terbang. Data tersebut selanjutnya dimasukkan dalam grafik dengan waktu sebagai variabel bebas yang diletakkan pada sumbu-x dan posisi sebagai variabel terikat diletakkan pada sumbu-y. Hasilnya adalah grafik seperti terlihat pada Gambar 2.6.

GRADIEN GRAFIK POSISI TERHADAP WAKTU

Kecepatan sebuah benda dapat diperoleh dari grafik posisi terhadap waktu. Pada grafik tersebut, perpindahan merupakan selisih posisi akhir terhadap posisi awal (Δy),