



Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Modul Belajar Mandiri

CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)
Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)

Bidang Studi
Fisika



MODUL BELAJAR MANDIRI CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)

Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)

**Bidang Studi
Fisika**

Penulis:

Tim GTK DIKDAS

Desain Grafis dan Ilustrasi:

Tim Desain Grafis

Copyright © 2021

Direktorat GTK Pendidikan Dasar

Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengopi sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Kata Sambutan

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar peserta didik. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas dan berkarakter Pancasila yang prima. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen utama dalam pendidikan sehingga menjadi fokus perhatian Pemerintah maupun Pemerintah Daerah dalam seleksi Guru Aparatur Sipil Negara (ASN) Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kontrak (PPPK).

Seleksi Guru ASN PPPK dibuka berdasarkan pada Data Pokok Pendidikan. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan mengestimasi bahwa kebutuhan guru di sekolah negeri mencapai satu juta guru (di luar guru PNS yang saat ini mengajar). Pembukaan seleksi untuk menjadi guru ASN PPPK adalah upaya menyediakan kesempatan yang adil bagi guru-guru honorer yang kompeten agar mendapatkan penghasilan yang layak. Pemerintah membuka kesempatan bagi: 1). Guru honorer di sekolah negeri dan swasta (termasuk guru eks-Tenaga Honorer Kategori dua yang belum pernah lulus seleksi menjadi PNS atau PPPK sebelumnya. 2). Guru yang terdaftar di Data Pokok Pendidikan; dan Lulusan Pendidikan Profesi Guru yang saat ini tidak mengajar.

Seleksi guru ASN PPPK kali ini berbeda dari tahun-tahun sebelumnya, dimana pada tahun sebelumnya formasi untuk guru ASN PPPK terbatas. Sedangkan pada tahun 2021 semua guru honorer dan lulusan PPG bisa mendaftar untuk mengikuti seleksi. Semua yang lulus seleksi akan menjadi guru ASN PPPK hingga batas satu juta guru. Oleh karenanya agar pemerintah bisa mencapai target satu juta guru, maka pemerintah pusat mengundang pemerintah daerah untuk mengajukan formasi lebih banyak sesuai kebutuhan.

Untuk mempersiapkan calon guru ASN PPPK siap dalam melaksanakan seleksi guru ASN PPPK, maka Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan (Ditjen GTK) mempersiapkan modul-modul pembelajaran setiap bidang studi yang digunakan sebagai bahan belajar mandiri, pemanfaatan komunitas pembelajaran menjadi hal yang sangat

penting dalam belajar antara calon guru ASN PPPK secara mandiri. Modul akan disajikan dalam konsep pembelajaran mandiri menyajikan pembelajaran yang berfungsi sebagai bahan belajar untuk mengingatkan kembali substansi materi pada setiap bidang studi, modul yang dikembangkan bukanlah modul utama yang menjadi dasar atau satu-satunya sumber belajar dalam pelaksanaan seleksi calon guru ASN PPPK tetapi dapat dikombinasikan dengan sumber belajar lainnya. Peran Kemendikbud melalui Ditjen GTK dalam rangka meningkatkan kualitas lulusan guru ASN PPPK melalui pembelajaran yang bermuara pada peningkatan kualitas peserta didik adalah menyiapkan modul belajar mandiri.

Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Pendidikan Dasar (Direktorat GTK Dikdas) bekerja sama dengan Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK) yang merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan modul belajar mandiri bagi calon guru ASN PPPK. Adapun modul belajar mandiri yang dikembangkan tersebut adalah modul yang di tulis oleh penulis dengan menggabungkan hasil kurasi dari modul Pendidikan Profesi Guru (PPG), Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB), Peningkatan Kompetensi Pembelajaran (PKP), dan bahan lainnya yang relevan. Dengan modul ini diharapkan calon guru ASN PPPK memiliki salah satu sumber dari banyaknya sumber yang tersedia dalam mempersiapkan seleksi Guru ASN PPPK.

Mari kita tingkatkan terus kemampuan dan profesionalisme dalam mewujudkan pelajar Pancasila.

Jakarta, Februari 2021
Direktur Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan,

Iwan Syahril

Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru Aparatur Sipil Negara (ASN) Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kontrak (PPPK) untuk 25 Bidang Studi (berjumlah 39 Modul). Modul ini merupakan salah satu bahan belajar mandiri yang dapat digunakan oleh calon guru ASN PPPK dan bukan bahan belajar yang utama.

Seleksi Guru ASN PPPK adalah upaya menyediakan kesempatan yang adil untuk guru-guru honorer yang kompeten dan profesional yang memiliki peran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar peserta didik. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas dan berkarakter Pancasila yang prima.

Sebagai salah satu upaya untuk mendukung keberhasilan seleksi guru ASN PPPK, Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Pendidikan Dasar pada tahun 2021 mengembangkan dan mengkurasi modul Pendidikan Profesi Guru (PPG), Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB), Peningkatan Kompetensi Pembelajaran (PKP), dan bahan lainnya yang relevan sebagai salah satu bahan belajar mandiri.

Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru ASN PPPK ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan bacaan (bukan bacaan utama) untuk dapat meningkatkan pemahaman tentang kompetensi pedagogik dan profesional sesuai dengan bidang studinya masing-masing.

Terima kasih dan penghargaan yang tinggi disampaikan kepada pimpinan Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK) yang telah mengizinkan stafnya dalam menyelesaikan Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru ASN PPPK. Tidak lupa saya juga sampaikan terima kasih kepada para widyaiswara dan Pengembang Teknologi Pembelajaran (PTP) di dalam penyusunan modul ini.

Modul Belajar Mandiri

Semoga Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru ASN PPPK dapat memberikan dan mengingatkan pemahaman dan keterampilan sesuai dengan bidang studinya masing-masing.

Jakarta, Februari 2021

Direktur Guru dan Tenaga
Kependidikan Pendidikan Dasar,



Dr. Drs. Rachmadi Widdiharto, M. A
NIP. 196805211995121002

Daftar Isi

	Hlm.
Kata Sambutan.....	i
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel.....	x
Pendahuluan	1
A. Deskripsi Singkat.....	1
B. Peta Kompetensi.....	1
C. Ruang Lingkup	1
D. Petunjuk Belajar	2
Pembelajaran 1. Hakikat ilmu Fisika.....	3
Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru.....	3
Modul 1. Kinematika.....	3
A. Kompetensi	3
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	3
C. Uraian Materi.....	3
1. Hakikat Ilmu Fisika dan metode ilmiah.....	3
2. Besaran, satuan dan Angka penting.....	5
D. Rangkuman.....	20
Pembelajaran 2. VEKTOR.....	23
Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru.....	23
Modul 1. Kinematika.....	23
Penulis ; Drs. Tarsisius Sarkin, M.Ed., Ph.D.....	23
A. Kompetensi	23
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	23
C. Uraian Materi.....	23
1. Menentukan resultan vector.....	29
D. Rangkuman.....	32
Pembelajaran 3. GERAK LURUS	35
Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru.....	35

Modul 1. Kinematika.....	35
A. Kompetensi	35
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	35
C. Uraian Materi.....	35
1. Posisi, jarak, perpindahan, kelajuan dan kecepatan	36
2. Kelajuan dan Kecepatan.....	39
3. Percepatan	42
4. Gerak Lurus Beraturan	43
5. Gerak Lurus Berubah Beraturan	43
6. Gerak Parabola	46
D. Rangkuman.....	48
Pembelajaran 4. GERAK MELINGKAR	51
Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru.....	51
Modul 1. Kinematika.....	51
A. Kompetensi	51
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	51
C. Uraian Materi.....	51
D. Rangkuman.....	56
Pembelajaran 5. DINAMIKA ROTASI	57
Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru.....	57
Modul 2. Dinamika.....	57
A. Kompetensi	57
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	57
C. Uraian Materi.....	57
D. Rangkuman	78
Pembelajaran 6. Elastisitas dan Gerak Harmonik	81
Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru.....	81
Modul 2. Dinamika.....	81
A. Kompetensi	81
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	81
C. Uraian Materi.....	81
D. Rangkuman	94

Penutup.....	97
Daftar Pustaka.....	99

Daftar Gambar

	Hlm.
Gambar 1. Mistar	8
Gambar 2. Jangka Sorong	9
Gambar 3. Bagian-bagian jangka Sorong	9
Gambar 4. Skala Utama dan Skala Nonius Berimpit	10
Gambar 5. Mikrometer Sekrup	10
Gambar 6. Bagian-bagian mikrometer sekrup (sumber: rumusrumus.com)	11
Gambar 7. Skala Utama dan skala Nonius Mikrometer Sekrup	11
Gambar 8. Standar nilai satu meter	14
Gambar 9. Satu kilogram standar	14
Gambar 10. satu sekon standar	15
Gambar 11. Termometer	15
Gambar 12. Goniophotometer	16
Gambar 13. luxmeter/lightmeter	16
Gambar 14. Satu radian standar	17
Gambar 15. Satu steradian	17
Gambar 16. ilustrasi besaran turunan kecepatan	18
Gambar 17. Gambar sebuah vektor r^{\rightarrow}	25
Gambar 18.(sumber avinurul-wordpress.com	27
Gambar 19. Ilustrasi Secara Vektor	27
Gambar 20.....	28
Gambar 21.....	28
Gambar 22. Ilustrasi resultan gaya sebidang datar	30
Gambar 23. ilustrasi resultan vector cara jajaran genjang.....	30
Gambar 24.....	30
Gambar 25. ilustrasi cara polygon.....	31
Gambar 26. ilustrasi metode analitis	31
Gambar 27. beberapa contoh gerak	36
Gambar 28. Posisi berbeda dalam garis horizontal	37
Gambar 29.....	38
Gambar 30.....	38

Gambar 31.....	39
Gambar 32. Penunjukkan Spedometer (inews.id).....	40
Gambar 33. Polisi pantau kecepatan	41
Gambar 34.....	41
Gambar 35. Grafik v-t	43
Gambar 36. grafik x-t	43
Gambar 37. Hasil ticker time untuk benda dengan percepatan	44
Gambar 38.Pola grafik a-t (gbr a) dan grafik x-t (gbr b) pada gerak lurus beraturan	45
Gambar 39. Lintasan parabola.....	46
Gambar 40. Analisa vector pada gerak parabola	47
Gambar 41. Gerak Melingkar Beraturan	51
Gambar 42. Percepatan tangensial dan sentripetal	54
Gambar 43. Roda sepusat (sumber : fisikabc.com)	55
Gambar 44. roda tidak sepusat.....	55
Gambar 45. Roda system tak langsung (sumber fisikabc.com).....	55
Gambar 46. Ilustrasi pengaruh gaya	58
Gambar 47. ilustrasi momen gaya	59
Gambar 48.....	69
Gambar 49. Benda mengalami regangan (<i>Sumber: Sears Zemansky</i>)	82
Gambar 50. Benda mengalami mampatan (Sumber: Sears, Zemansky)	83
Gambar 51. Sistem Pegas-massa	87
Gambar 52. Grafik simpangan terhadap waktu t.....	89
Gambar 53. Susunan seri	91
Gambar 54a. susunan parallel kondisi setimbang.....	92
Gambar 55. susunan parallel kondisi diberi gaya.....	92

Daftar Tabel

	Hlm.
Tabel 1. Besaran Pokok.....	13
Tabel 2. besaran “mks” dan “cgs”	19
Tabel 3. Persamaan momen inersia	63
Tabel 4. Relasi antar besaran	72

Pendahuluan

A. Deskripsi Singkat

Materi Besaran, Satuan, Pengukuran, dan vektor ini dirancang untuk membantu teman-teman memahami hakikat Fisika, besaran-besaran Fisika dan satuannya serta cara melakukan pengukuran dengan alat-alat ukur beserta cara menyajikan hasil pengukuran, dan juga memahami cara penulisan vektor dan pengoperasian vektor.

Hal-hal yang disampaikan dalam materi ini penting dipelajari dan dipahami karena pada pembahasan-pembahasan selanjutnya tidak pernah terlepas dari besaran-besaran Fisika, yang terdiri dari besaran vektor dan besaran skalar, dan satuannya dan bahwa besaran-besaran ini tentunya perlu diukur untuk mengetahui nilainya. Setelah memahami dasar ini, maka selanjutnya akan digunakan untuk membahas materi lainnya.

A. Peta Kompetensi

Menjelaskan berbagai fenomena fisika yang ada di lingkungan sekitar menggunakan metode ilmiah.

Menentukan variabel lain dari hasil pengukuran dengan menerapkan angka penting.

Menentukan posisi benda pada sumbu vertikal dan horizontal dengan menggunakan vektor satuan

B. Ruang Lingkup

Metode ilmiah dalam pembelajaran.

Menentukan variabel lain dari hasil pengukuran dengan menerapkan angka penting.

Menentukan posisi benda pada sumbu vertikal dan horisontal

C. Petunjuk Belajar

Untuk membantu semakin memahami topik yang dibahas maka dalam modul ini teman-teman perlu:

1. Membaca uraian materi dengan seksama dan memahaminya.
2. Mengerjakan tugas secara mandiri.
3. Mengerjakan soal tes formatif untuk mengukur pemahaman.
4. Mencocokkan hasil pengerjaan tes formatif dan bila masih ada hal yang salah dan belum dipahami maka perlu membaca ulang uraian materi agar semakin paham.
5. Membaca referensi lain yang disarankan.

Selamat belajar teman-teman, semoga capaian pembelajaran dan sub capaian pembelajaran dapat terpenuhi setelah menyelesaikan pembelajaran dalam satu modul ini.

Pembelajaran 1. Hakikat ilmu Fisika

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 1. Kinematika
Penulis ; Drs. Tarsisius Sarkin, M.Ed., Ph.D.

A. Kompetensi

1. Menggunakan alat-alat ukur, alat peraga, alat hitung, dan piranti lunak komputer untuk meningkatkan pembelajaran fisika di kelas, laboratorium, dan lapangan
2. Memahami sejarah perkembangan IPA pada umumnya khususnya fisika dan pikiran-pikiran yang mendasari perkembangan tersebut.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan berbagai fenomena fisika yang ada di lingkungan sekitar menggunakan metode ilmiah.
2. Menerapkan angka penting dalam pengukuran
3. Menentukan posisi benda pada sumbu vertikal dan horizontal dengan menggunakan vektor satuan
4. Menghitung kecepatan sudut benda pada gerak melingkar beraturan
5. Menghitung kecepatan linier benda yang bergerak melingkar beraturan
6. Menganalisis faktor-faktor yang mengakibatkan perubahan percepatan sentripetal suatu benda yang bergerak melingkar.

C. Uraian Materi

1. Hakikat Ilmu Fisika dan metode ilmiah

Fisika sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Pengukuran merupakan dasar dalam Fisika. Saat sedang mengendarai motor misalnya, ada dua pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran panjang lintasan yang dilalui dan pengukuran kecepatan, kemudian saat pergi ke warung dan membeli beras maka pasti akan dilakukan pengukuran massa beras, saat memanggang kue

biasanya ibu-ibu melakukan pengukuran waktu untuk menentukan kapan proses pemanggangan dapat dihentikan dan kue matang, dan masih banyak lagi hal-hal yang berkaitan dengan pengukuran yang lainnya. Oleh karena itu konsep pengukuran ini sangat penting karena bidang Fisika tidak lepas dari proses pengukuran.

Secara umum terdapat tiga hakikat Fisika yaitu Fisika sebagai produk, Fisika sebagai proses, dan Fisika sebagai sikap. Produk di dalam Fisika antara lain prinsip, hukum, rumus, teori, model. Sehingga Fisika sebagai produk merupakan hasil akhir dari proses pengamatan. Sedangkan pengamatan itu sendiri merupakan hakikat Fisika sebagai proses. Proses merupakan bagaimana cara mendapatkan produk-produk Fisika tersebut. Hakikat yang terakhir adalah Fisika sebagai sikap. Sikap inilah yang mendasari adanya proses sehingga diperoleh produk. Sehingga dengan bertindak dan bersikap maka proses dapat dilakukan hingga akhirnya diperoleh produk.

Oleh karena itu, salah satu hal penting yang perlu dipelajari dalam Fisika adalah proses mengamati. Proses mengamati biasanya tidak terlepas dari proses pengukuran. Sehingga mengukur merupakan kemampuan dasar yang harus dimiliki agar dapat melakukan proses dengan benar sehingga nantinya dapat menghasilkan produk yang bermanfaat.

Sebagai contoh, saat pertama kali Anda membuat nasi goreng, ternyata rasanya tidak sesuai dengan harapan. Akan timbul pertanyaan dalam hati Anda, “Apa yang kurang dengan nasi goreng yang sudah saya buat?”, sehingga Anda akan mencari tahu hal apa yang menyebabkan nasi goreng yang telah dibuat rasanya tidak sesuai dengan harapan.

Proses ini sebenarnya merupakan prosedur ilmiah. Tanpa disadari Anda telah melakukannya dalam keseharian, tetapi mungkin prosedurnya tidak sistematis atau tidak lengkap langkahnya. Lalu apa itu prosedur ilmiah? Prosedur ilmiah merupakan langkah-langkah sistematis yang dilakukan untuk mendapatkan suatu pengetahuan. Tahap-tahap dari metode ilmiah adalah:

- a. Merumuskan masalah
- b. Mengumpulkan Informasi

- c. Menyusun hipotesis
- d. Menguji hipotesis
- e. Mengolah data (hasil) percobaan/ Analisis Data
- f. Menarik kesimpulan

2. Besaran, satuan dan Angka penting

Besaran merupakan segala sesuatu yang dapat diukur. Besaran dikelompokkan menjadi dua yaitu besaran pokok dan besaran turunan. Besaran pokok merupakan besaran yang satuannya telah ditentukan terlebih dahulu dan tidak diturunkan dari besaran-besaran lain. Sedangkan besaran turunan adalah besaran yang diturunkan dari satu atau lebih besaran pokok. Besaran-besaran ini dalam Fisika digunakan untuk menyatakan hukum-hukum Fisika.

Terdapat tujuh besaran pokok yaitu panjang, massa, waktu, suhu, intensitas cahaya, kuat arus, dan jumlah zat. Sedangkan contoh besaran turunan antara lain kecepatan, volume, luas, dll. Untuk menyatakan hukum-hukum Fisika, besaran biasanya diukur. Pengukuran besaran ini dilakukan dengan membandingkannya terhadap acuan standar. Sebagai contoh misalnya mengukur besaran panjang dari sebuah buku dan diperoleh nilai 15 cm. Saat melakukan pengukuran dan mendapatkan nilai 15 cm itu artinya bahwa panjang buku tersebut 15 kali panjang sesuatu yang panjangnya didefinisikan sebagai satu cm. Supaya hasil pengukuran ini dapat diterima oleh orang lain maka perlu ada suatu standar yang disepakati bersama untuk menyatakan besaran-besaran yang diukur seperti Sistem Satuan Internasional.

a. **Aturan Angka Penting**

Angka penting merupakan angka hasil pengamatan atau angka-angka yang diperoleh dari hasil pengukuran. Untuk menentukan apakah suatu angka merupakan angka penting atau bukan, perhatikan aturan-aturan angka penting berikut ini:

1. Semua angka bukan nol adalah angka penting.
2. Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol adalah angka penting.
3. Semua angka nol yang terletak pada deretan akhir dari angka-angka yang ditulis di belakang koma desimal termasuk angka penting.
4. Angka-angka nol yang digunakan hanya untuk tempat titik desimal adalah bukan angka penting.
5. Bilangan-bilangan puluhan, ratusan, ribuan, dan seterusnya yang memiliki angka-angka nol pada deretan akhir harus dituliskan dalam notasi ilmiah agar jelas apakah angka-angka nol tersebut termasuk angka penting atau bukan.

Dalam penulisan hasil pengukuran, aturan-aturan yang harus diperhatikan. Berikut ini adalah aturan penulisan angka penting dalam fisika.

1. Semua angka bukan nol adalah AP.
Contoh: Angka 343245 memiliki enam AP.
2. Angka nol di belakang angka bukan nol adalah bukan angka penting, kecuali diberi tanda khusus misal garis bawah.
Contoh:
 - a. Angka 120 memiliki dua AP yaitu 1 dan 2.
 - b. Angka 40700 memiliki tiga AP yaitu 4, 0 dan 7.
3. Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol adalah angka penting.
Angka 40700 memiliki tiga AP yaitu 4, 0 dan 7.
4. Angka nol di depan angka bukan nol adalah bukan AP.
Angka 0,0065 memiliki dua AP yaitu 6 dan 5.
5. Angka nol di belakang tanda desimal dan mengikuti angka bukan nol adalah AP.
Angka 5,600 memiliki empat AP yaitu 5, 6, 0 dan 0.

Aturan dalam pembulatan angka penting adalah sebagai berikut.

1. Angka lebih dari 5 dibulatkan ke atas dan angka kurang dari 5 dihilangkan.
Contoh:
 - a. 246,86 dibulatkan menjadi 246,9

- b. 416,64 dibulatkan menjadi 416,6
2. Apabila tepat angka 5, dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya angka ganjil, dan dihilangkan jika angka sebelumnya angka genap.
- Contoh:
- a. 246,65 dibulatkan menjadi 246,6
- b. 326,55 dibulatkan menjadi 326,6.

Contoh :

Suatu hari siswa A diminta untuk melakukan pengukuran massa jenis air. Untuk mengukur massa jenis mereka mengukur volume air dan massa air, sehingga diperoleh data sebagai berikut.

No	Volume (ml)	Massa (kg)	Massa jenis (g/cm ³)	ρ^2
1	50	49	0,98	0,9604
2	100	100	1	1
3	150	155	1,03	1,0609
4	200	190	0,95	0,9025
5	250	257	1,028	1,056784
Jumlah			4,988	4,980584

Dari table hasil pengukuran terlihat ada lima hasil pengukuran massa jenis, lalu mana yang harus dipilih? Berapa sebenarnya nilai massa jenis dari air yang diukur? Untuk menentukan massa jenis air, perlu dirata-rata nilai hasil perhitungan massa jenisnya :

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5}{5}$$

$$\rho = \frac{0,98 + 1 + 1,03 + 0,95 + 1,028}{5} = 0,9976 \text{ g/cm}^3$$

Karena angka penting hasil data pengukuran tersebut paling kecil adalah satu, maka massa jenis rata-rata yang telah diperoleh menggunakan operasi matematika tersebut adalah sebesar 1 g/cm³.

b. Pengukuran

Setiap besaran dapat diukur dengan banyak cara dan banyak alat. Misalnya untuk besaran panjang sendiri terdapat banyak alat ukur yang dapat digunakan antara lain mistar, jangka sorong, mikrometer sekrup dan masih banyak lagi alat ukur yang lainnya. Misalnya untuk mengukur panjang sebuah buku alat ukur yang digunakan adalah mistar. Mengapa tidak menggunakan jangka sorong atau mikrometer sekrup? Masing-masing alat ukur memiliki ketelitian yang berbeda sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Mengukur panjang buku menggunakan jangka sorong terasa berlebihan dan justru menyulitkan karena pada saat mengukur panjang buku tidak diperlukan tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Oleh karena itu mari kita lihat beberapa contoh alat ukur dan bagaimana cara menggunakannya.

Mistar

Mistar merupakan salah satu alat ukur panjang yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Biasanya mistar digunakan untuk mengukur panjang benda-benda yang besar. Perhatikan Gambar dibawah, terlihat bahwa skala mistar terdiri dari garis-garis panjang dan pendek. Garis-garis panjang menunjukkan setiap satu cm kemudian dalam satu cm itu terdapat 10 garis-garis pendek sehingga setiap jarak antara dua garis pendek ini panjangnya adalah satu mm. Maka berapa panjang terkecil yang dapat diukur oleh mistar? Dapatkah mistar digunakan untuk mengukur diameter sebuah kelereng? atau mengukur tebal sebuah pelat?



Gambar 1. Mistar

Jangka Sorong

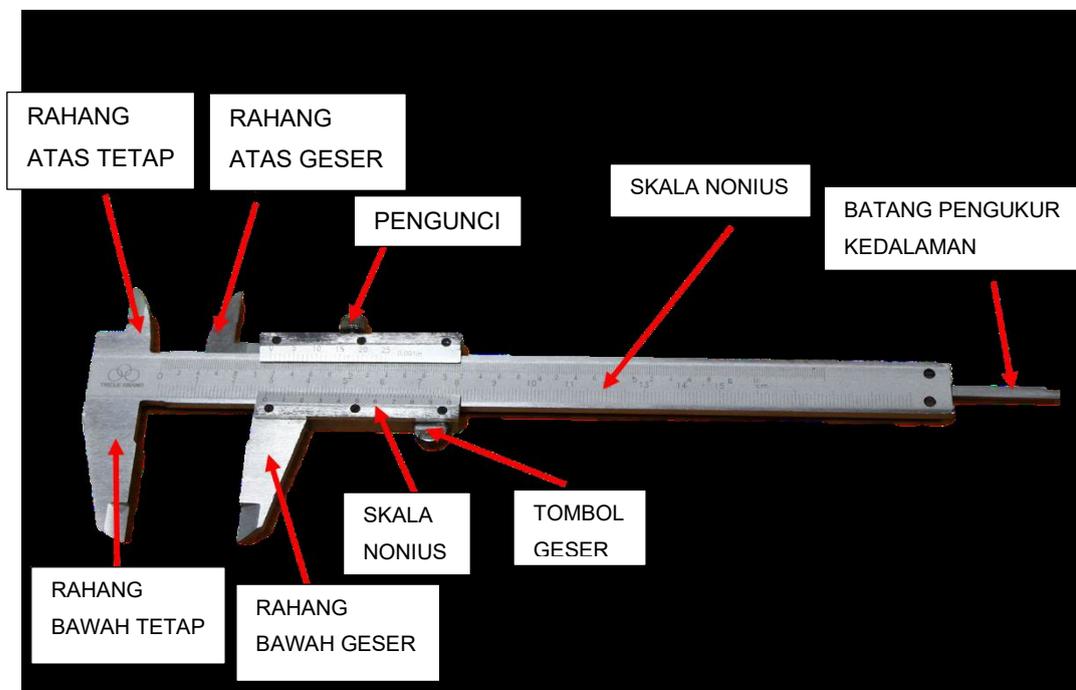
Jangka sorong seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.2 merupakan salah satu alat ukur panjang. Biasanya jangka sorong ini digunakan untuk mengukur diameter luar, diameter dalam, atau kedalaman. Berbeda dengan mistar yang hanya terdapat skala utama, pada jangka sorong terdapat skala utama dan skala nonius. Selain itu terdapat beberapa bagian lain dari jangka sorong yaitu rahang tetap atas dan bawah yang tidak bergeser saat melakukan pengukuran.

Sedangkan rahang sorong atas dan bawah akan bergeser saat melakukan pengukuran. Saat rahang sorong bergeser maka skala nonius dan tangkai ukur kedalaman akan ikut bergeser.



Gambar 2. Jangka Sorong

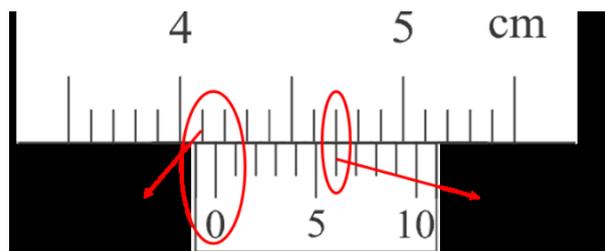
Gambar 1.2. Jangka sorong



Gambar 3. Bagian-bagian jangka Sorong

Untuk membaca hasil pengukuran menggunakan jangka sorong, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut. Setelah melakukan pengukuran dengan tepat maka hasil pengukurannya dapat diketahui dengan pertama-tama menentukan besarnya skala utama terlebih dahulu dengan melihat garis 0 dari skala nonius. Bila hasil pengukuran seperti ditunjukkan Gambar 1.3, maka perhatikan garis skala 0 pada skala nonius yang berada di antara 4,1 dengan 4,2 cm itu artinya hasil pengukurannya menunjukkan lebih dari 4,1 tapi kurang

dari 4,2 cm. Nah, berapa lebihnya? Nilai lebih ini ditentukan dengan melihat skala nonius, yaitu carilah garis skala utama yang berimpit dengan skala nonius (lihat Gambar 1.4). Nilai skala nonius yang berimpit ini kemudian dikalikan dengan 0,01 cm. Karena yang berimpit adalah skala ke-6 maka hasil pengukurannya adalah 4,16 cm.



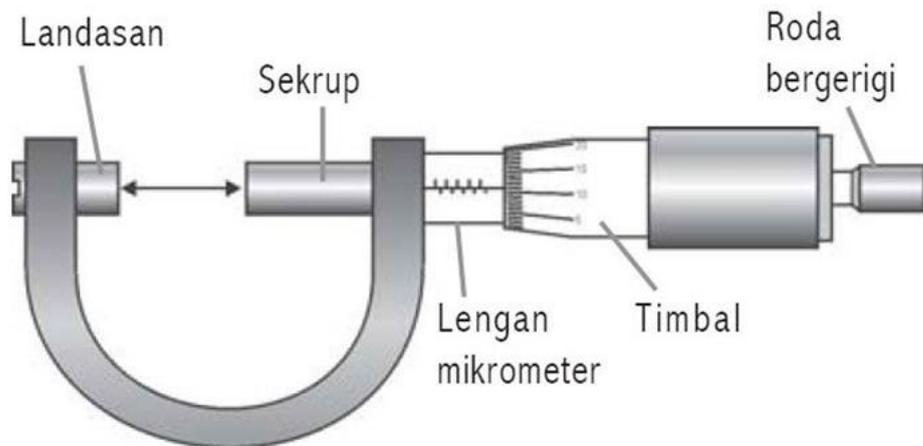
Gambar 4. Skala Utama dan Skala Nonius Berimpit

Mikrometer Sekrup

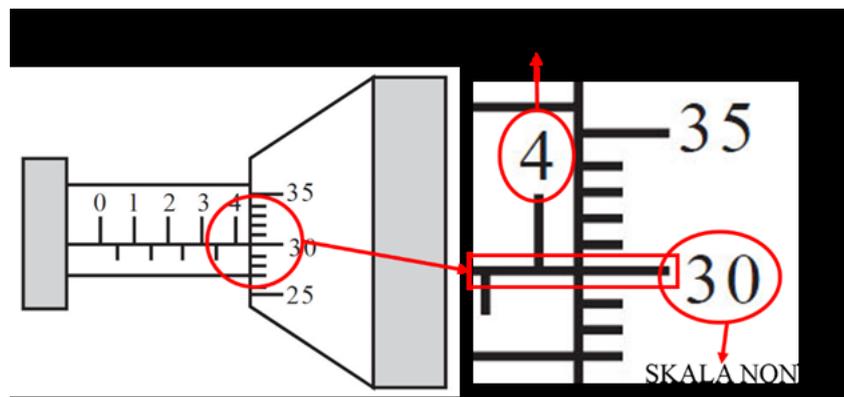
Mikrometer sekrup seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.5 juga merupakan alat ukur panjang yang bagian-bagiannya ditunjukkan oleh Gambar 1.6. Biasanya mikrometer sekrup ini digunakan untuk mengukur panjang yang ordenya kecil, misalnya untuk mengukur tebal kertas atau mengukur panjang suatu benda yang kecil. Hal ini dilakukan karena kemampuan mikrometer sekrup mengukur hingga 0,01 mm.



Gambar 5. Mikrometer Sekrup



Gambar 6. Bagian-bagian mikrometer sekrup (sumber: rumusrumus.com)



Gambar 7. Skala Utama dan skala Nonius Mikrometer Sekrup

Saat melakukan pengukuran dengan mikrometer sekrup, maka yang dilakukan adalah menjepit benda yang diukur di antara landasan dan sekrup. Landasan ini tetap tidak bergerak, yang bergerak adalah sekrup. Saat memutar timbal searah skala timbal (dari 0 – 50) maka sekrup ini akan bergerak menjauhi landasan. Setelah itu kemudian dibaca hasil pengukurannya. Cara membaca hasil pengukuran dengan menggunakan mikrometer sekrup adalah dengan menentukan skala utama terlebih dahulu, kemudian melihat skala nonius. Skala utama ditentukan dari angka terakhir yang terlihat. Garis yang menghadap ke atas menunjukkan setiap satu milimeter, sedangkan garis ke bawah menunjukkan setiap setengah milimeter. Gambar 1.7 menunjukkan bahwa skala utama terakhir yang terlihat adalah 4 pada garis ke atas, tapi

masih ada lebih. Itu artinya hasil pengukuran harusnya 4 mm lebih tetapi kurang dari 4,5 mm. Lalu berapa lebihnya? Lebihnya ini dapat dilihat dari skala noniusnya. Skala nonius yang dilihat adalah garis skala nonius yang berimpit dengan garis horizontal pada skala utama. Terlihat pada Gambar 1.7, garis skala nonius yang berimpit dengan garis horizontal skala utama adalah skala ke 30. Berapa nilai skala 30 ini?

Skala terkecil dari skala utama pada mikrometer sekrup ini adalah 0,5 mm sedangkan skala nonius jumlahnya adalah 50 skala. Ini artinya setiap 0,5 mm dibagi ke 50 skala nonius, sehingga untuk satu skala nonius mewakili 0,01 mm. Maka, bila pada skala nonius yang berimpit adalah skala ke-30 sehingga lebihnya adalah 0,3 mm. sehingga hasil pengukurannya adalah 4,3 mm.

c. Besaran dan Satuan

Pengukuran, tentu saja tidak lepas dari yang Namanya besaran. Nilai besaran dinyatakan dalam bentuk kuantitatif dengan angka dan satuannya sebagai hasil dari pengukuran.

Besaran adalah gambaran secara kuantitatif (ukuran) suatu benda, proses atau keadaan, misalnya Panjang, massa, waktu, kecepatan dan lain-lain. Besaran dapat dibedakan menjadi besaran vektor dan besaran skalar. Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur, dihitung, memiliki nilai dan satuan serta menggambarkan sifat dari benda. Sifat ini dinyatakan dalam angka melalui hasil pengukuran. Oleh karena satu besaran berbeda dengan besaran lainnya, maka ditetapkan satuan untuk tiap besaran.

Satuan juga menunjukkan bahwa setiap besaran diukur dengan cara berbeda. Sistem **Satuan Internasional** (SI) selama ini dikembangkan oleh komisi Teknik dan ISO (*International Organization for standardization*). Standar satuan ini tercantum dalam International Standard ISO R31 yang memuat tiga macam kategori satuan, yaitu:

- 1) satuan dasar terkait dengan besaran pokok
- 2) satuan tambahan terkait dengan besaran tambahan
- 3) satuan turunan terkait dengan besaran turunan

Contoh:

panjang balok adalah 2 meter. Panjang adalah besaran pokok, “2” disini menyatakan nilai ukuran (nilai besaran pokok), dan meter adalah satuan dasar.

Besaran Pokok

Besaran pokok atau *besaran dasar* adalah besaran yang satuannya telah ditentukan sebelumnya. Penggunaan besaran-besaran pokok telah disepakati secara Internasional dan diberlakukan di semua negara. Pemilihan besaran pokok ini berdasarkan pertimbangan *kegunaan, kepraktisan, dan harus memperoleh pengakuan internasional.* Cara penentuannya melalui prosedur bagaimana cara mengukur besaran pokok dan menetapkan bagi besaran tersebut. Satuan yang dipilih berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- Lazim digunakan di berbagai Negara, jadi bersifat internasional.
- Satuan itu tetap, tidak berubah karena pengaruh apapun.
- Satuan itu mudah ditiru oleh setiap orang yang memerlukannya.

Dalam fisika, dari berbagai besaran seperti panas, cahaya, listrik, dan zat, maka diputuskan bahwa besaran pokok itu harus diperluas bahkan dipertimbangkan pula demi kepraktisan untuk menambahkan dua besaran pokok tambahan.

Tabel 1. Besaran Pokok

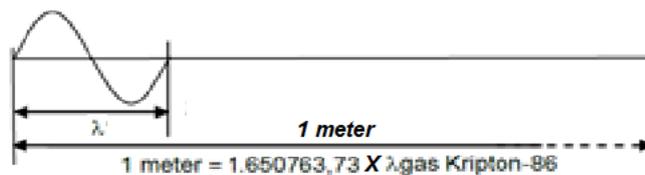
No.	Besaran Pokok	Nama Satuan	Lambang Satuan	Simbol Besaran
1	Panjang	Meter	m	l
2	Massa	Kilogram	Kg	m
3	Waktu	Sekon	S	s
4	Arus listrik	Ampere	A	i
5	Temperature	Kelvin	K	T
6	Intensitas cahaya	Kandela	Cd	J
7	Jumlah zat	mol	Mol	n
Besaran Pokok Tambahan				
8	Sudut datar	Radian	Rad	
9	Sudut Ruang	Steradian	Sr	

Satuan-satuan tersebut di atas telah digunakan dan didefinisikan secara internasional. Karena itu maka satuan tersebut dinamakan Sistem Satuan

Internasional atau SI. Definisi mengenai macam besaran pokok adalah sebagai berikut.

a. Besaran Panjang

Besaran panjang dalam sistem internasional (SI) mempunyai satuan meter. **1 meter standar** adalah panjang yang sama dengan 1.650.763.73 kali Panjang gelombang gas krypton.

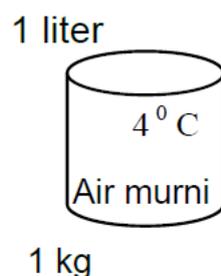


Gambar 8. Standar nilai satu meter

Nilai dari panjang satu meter yang disamakan dengan panjang gelombang gas krypton 86 menjadi acuan untuk menentukan nilai panjang dari berbagai macam benda yang ada disekitar kita. Kemudian, untuk mengurangi ketidakpastian nilai panjang tersebut, maka pada tahun 1983 CGPM (CGPM: *Conférence Générale des Poids et Mesures*), merevisi standar satu meter menjadi jarak yang ditempuh cahaya dalam vakum pada interval waktu $1/299.792.498$ detik.

b. Besaran Massa

Massa suatu benda menunjukkan kuantitas zat yang dimiliki oleh benda tersebut. Besaran massa dalam sistem internasional mempunyai satuan kilogram. **1 kilogram standar** adalah sama dengan massa 1 liter air murni yang suhunya 4°C , merupakan satuan massa yang sama dengan massa dari *prototype* kilogram internasional (CGPM ke-1 tahun 1901).



Gambar 9. Satu kilogram standar

c. Besaran Waktu

Besaran waktu dalam sistem internasional mempunyai satuan sekon. **1 sekon standar** adalah sama dengan waktu yang diperlukan oleh atom *Cesium-133* untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali. (CGPM ke-13 tahun 1967). Waktu periode radiasi yang bersesuaian dengan transisi antara dua "*hyperfine levels*" dari keadaan atom *Cesium-133* saat ini dijadikan sebagai waktu standar.



Gambar 10. satu sekon standar

d. Besaran Kuat Arus Listrik

Besaran kuat arus listrik dalam sistem internasional mempunyai satuan ampere. **1 Ampere** adalah arus tetap yang bila dipertahankan dalam dua konduktor lurus sejajar dengan panjang tak terhingga dengan luas penampang yang dapat diabaikan dan diletakkan pada jarak 1 m dalam ruang hampa udara, menghasilkan gaya antara dua konduktor ini sebesar 2.107 Newton per meter (CGPM ke-13 tahun 1967).

e. Besaran Temperatur

Besaran temperatur dalam sistem internasional mempunyai satuan Kelvin. **1 Kelvin** adalah satuan suhu termodinamika, merupakan $1/273,6$ dari suhu titik tripel air.

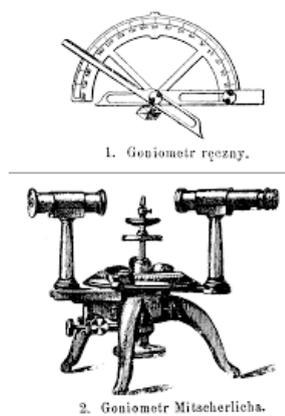


Gambar 11. Termometer

f. Besaran Intensitas Cahaya

Besaran intensitas cahaya dalam sistem internasional mempunyai satuan candela. **1 candela** adalah *intensitas cahaya dalam arah tegak lurus pada satu permukaan seluas $1/600.000$ meter persegi dari suatu benda hitam pada temperatur platina beku dalam tekanan 101.325 Newton per meter persegi.*(CGPM ke-13 tahun 1967).

Alat ukur intensitas cahaya yang digunakan ada beberapa macam, misalnya goniophotometer (gambar 1.12) dan luxmeter/lightmeter (gambar 1.13)



Gambar 12. Goniophotometer



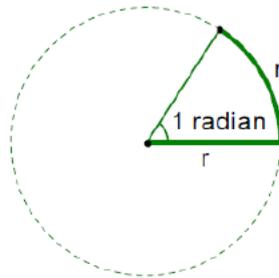
Gambar 13. luxmeter/lightmeter

g. Besaran Jumlah Zat

Besaran Jumlah Zat dalam sistem internasional mempunyai satuan mol. **1 Mol** adalah jumlah substansi dari suatu sistem yang berisi sejumlah satuan elementer yang sama dengan atom-atom 0,012 kg Carbon-12. (CGPM ke-14 tahun 1971).

h. Sudut Bidang Datar

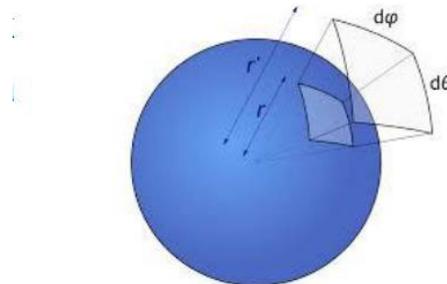
Radian adalah sudut bidang antara dua jari-jari lingkaran yang memotong keliling lingkaran, dengan panjang busur sama panjang dengan jari-jarinya. Perhatikan gambar 1.14.



Gambar 14. Satu radian standar

i. Sudut Ruang

Steradian adalah sudut ruang yang puncaknya terletak pada pusat bola, membentuk juring suatu bola memotong permukaan bola dengan luas sama dengan kuadrat jari-jari bola (r^2). Perhatikan gambar 1.15.



Gambar 15. Satu steradian

Besaran Turunan

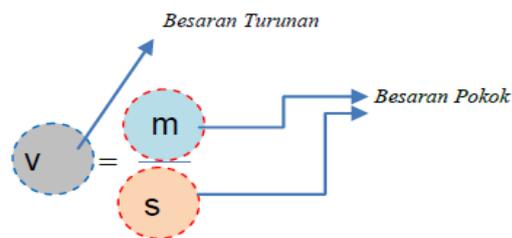
Besaran turunan merupakan besaran yang satuannya diturunkan dari beberapa satuan besaran pokok. Sebuah benda yang sedang bergerak, misalnya mobil dikatakan memiliki kecepatan atau kelajuan. Kecepatan adalah jarak yang ditempuh setiap satuan waktu.

Secara matematis dituliskan:

$$\text{kecepatan} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{waktu tempuh}}$$

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

Satuan kecepatan yaitu m/s, diperoleh dari besaran panjang (jarak) yaitu meter dibagi dengan satuan waktu yaitu sekon. Kecepatan termasuk besaran turunan sebab satuan kecepatan yaitu m/s berasal dari satuan-satuan besaran pokok yaitu meter dan sekon.



Gambar 16. ilustrasi besaran turunan kecepatan

Besaran turunan lain yaitu : percepatan, massa jenis, gaya, energi dan sebagainya, dapat Anda peroleh dengan menggunakan ilustrasi atau skema seperti pada gambar 1.16. Ilustrasi atau skema ini digunakan untuk menunjukkan bahwa suatu besaran turunan adalah berasal dari besaran-besaran lainnya.

Satuan Baku dan Satuan Tak Baku

Satuan adalah cara mengungkapkan suatu ukuran dengan menggunakan bilangan. Setiap besaran mempunyai satuannya masing-masing. Contoh: panjang bambu adalah 2 meter. Panjang adalah besaran, 2 disini menyatakan nilai ukuran (nilai besaran), dan meter adalah satuan. Selain itu satuan besaran dalam fisika dapat dibedakan menjadi satuan baku dan satuan tak baku.

a. Satuan baku adalah satuan yang telah disepakati, diakui, dan ditetapkan secara internasional. Satuan baku tersebut dikenal dengan Sistem Internasional (*International System of Units*). Sistem satuan internasional atau lebih dikenal dengan satuan SI (dari bahasa Perancis, *System International d' Unites*) adalah sistem satuan yang dikelola oleh organisasi standar internasional yang juga dikenal dengan nama ISO (*International Organization for Standardization*).

Penggunaan sistem Internasional dapat diperoleh beberapa keuntungan, antara lain:

- 1) Satuan yang digunakan bukan merupakan satuan baru;

- 2) Satuan yang dipilih merupakan satuan yang tetap, tidak akan terpengaruh oleh faktor luar
- 3) Unit satuan yang dipilih mudah ditentukan dan mudah diduplikasi secara legal untuk berbagai keperluan
- 4) Mewakili seluruh bagian dari Fisika, mencakup mekanika, panas, optik, listrik, sampai bidang ilmu lainnya.

Satuan Sistem Internasional dapat diungkapkan dalam:

- 1) Sistem CGS (Centimeter, Gram, Sekon)
- 2) *British Gravitational System* (BGS)
- 3) *Metric System* atau Sistem MKS (Meter, Kilogram, Sekon)

Berikut ini merupakan satuan baku besaran pokok dan beberapa besaran turunan pada sistem “mks” dan “cgs”.

Tabel 2. besaran “mks” dan “cgs”

No.	Nama Besaran	Satuan Tidak Baku
1.	Panjang	Jengkal, hasta, depa
2.	Massa	Mayam, entik
3.	Waktu	Pekan, sepekingan
4.	Luas	Tumbak, bahu, bata
5.	Volume	Gantang, gayung

Pengukuran

Mari kita perhatikan ilustrasi berikut ini, berikut adalah penentuan panjang atau lebar sebuah meja di laboratorium. Misalkan hasil pengukuran diperoleh data panjang adalah 2,5 meter dan lebarnya 80 cm. Panjang 2,5 m dan lebar 80 cm diperoleh berdasarkan alat tertentu, misalkan meteran atau penggaris. Demikian juga jika kita menimbang massa sebuah benda dengan menggunakan neraca teknis atau timbangan. Massa benda sebenarnya dibandingkan dengan massa standar yang sudah ditetapkan. Berdasarkan kedua ilustrasi di atas, ***pengukuran*** diartikan sebagai ***proses mengaitkan angka-angka secara empirik dan objektif pada sifat-sifat objek tertentu atau kejadian di dunia nyata sedemikian rupa sehingga angka-angka tersebut memberikan gambaran yang jelas mengenai objek atau kejadian tersebut.*** Ketika sedang mengukur berarti Anda sedang membandingkan suatu besaran dengan sebuah satuan standar yang telah ditetapkan sebelumnya.

Setiap pengukuran selain menggunakan alat ukur yang sesuai juga harus standar. Misalkan untuk mengukur panjang digunakan meteran, mengukur massa digunakan timbangan, mengukur gaya digunakan dinamometer, mengukur kecepatan atau kelajuan digunakan speedometer. Alat-alat ukur tersebut haruslah standar dengan cara alat tersebut harus selalu terkalibrasi secara tertelusur terhadap alat ukur standar. Dalam mempelajari pengukuran dikenal beberapa istilah, antara lain seperti ketelitian, ketepatan, sensitivitas, resolusi, dan kesalahan.

D. Rangkuman

1. Fisika sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Pengukuran merupakan dasar dalam Fisika.
2. Secara umum terdapat tiga hakikat Fisika yaitu Fisika sebagai produk, Fisika sebagai proses, dan Fisika sebagai sikap. Produk di dalam Fisika antara lain prinsip, hukum, rumus, teori, model. Sehingga Fisika sebagai produk merupakan hasil akhir dari proses pengamatan. Sedangkan pengamatan itu sendiri merupakan hakikat Fisika sebagai proses. Proses merupakan bagaimana cara mendapatkan produk-produk Fisika tersebut. Hakikat yang terakhir adalah Fisika sebagai sikap. Sikap inilah yang mendasari adanya proses sehingga diperoleh produk. Sehingga dengan bertindak dan bersikap maka proses dapat dilakukan hingga akhirnya diperoleh produk.
3. Besaran merupakan segala sesuatu yang dapat diukur. Besaran dikelompokkan menjadi dua yaitu besaran pokok dan besaran turunan.
4. Angka penting merupakan angka hasil pengamatan atau angka-angka yang diperoleh dari hasil pengukuran. Angka penting memiliki beberapa aturan, yaitu :
 1. Semua angka bukan nol adalah angka penting.
 2. Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol adalah angka penting.
 3. Semua angka nol yang terletak pada deretan akhir dari angka-angka yang ditulis di belakang koma desimal termasuk angka penting.

4. Angka-angka nol yang digunakan hanya untuk tempat titik desimal adalah bukan angka penting.
5. Bilangan-bilangan puluhan, ratusan, ribuan, dan seterusnya yang memiliki angka-angka nol pada deretan akhir harus dituliskan dalam notasi ilmiah agar jelas apakah angka-angka nol tersebut termasuk angka penting atau bukan.

Pembelajaran 2. VEKTOR

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 1. Kinematika
Penulis ; Drs. Tarsisius Sarkin, M.Ed., Ph.D.

A. Kompetensi

1. Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel.
2. Memahami struktur (termasuk hubungan fungsional antar konsep) ilmu Fisika dan ilmu-ilmu lain yang terkait.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menentukan resultan vektor dengan menggunakan metode jajaran genjang
2. Menentukan resultan beberapa vektor dengan menggunakan metode analitis
3. Menentukan arah resultan gaya
4. Menggambarkan resultan gaya dengan menggunakan metode grafis
5. Menentukan penjumlahan beberapa vektor

C. Uraian Materi

Dalam fisika selain besaran pokok dan besaran turunan, dikenal juga besaran vektor dan besaran skalar. Besaran vektor adalah besaran fisika yang mempunyai nilai dan arah sedangkan besaran skalar adalah besaran fisika yang hanya mempunyai nilai tetapi tidak mempunyai arah. Beberapa besaran vektor antara lain perpindahan, kecepatan, gaya, tekanan, medan magnet, dan momentum. Besaran-besaran tersebut selalu dapat dikaitkan dengan arah kemana vektor itu bekerja. Besaran fisika seperti kelajuan, massa, jarak, waktu, luas, volume, dan massa jenis, termasuk besaran skalar karena besaran-besaran tersebut hanya mempunyai nilai saja. Jika dikatakan ada sebuah meja yang panjangnya 2 meter, maka pernyataan tersebut sudah cukup jelas karena kita tidak memerlukan arah untuk menentukan besaran panjang. Besaran seperti itu dinamakan besaran skalar. Tetapi jika dikatakan seorang anak menendang bola dengan gaya 100 N,

tentunya pernyataan tersebut masih dapat memunculkan pertanyaan lainnya yaitu ke arah mana bola tersebut bergerak? Sama halnya dengan pernyataan sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 60 km/jam, pertanyaan yang muncul misalnya ke arah mana, mobil tersebut bergerak? Besaran fisis seperti gaya dan kecepatan selalu mempunyai nilai dan arah sehingga tergolong ke dalam besaran vektor. Sebuah vektor diberi **notasi** dan digambarkan secara khusus dengan pengertian dan batasan yang jelas. Vektor diberi notasi berupa huruf besar atau kecil yang dicetak tebal atau diberi tanda panah di atasnya. Misalnya vektor sebuah gaya dapat digambarkan atau dituliskan dengan atau \mathbf{F} (berasal dari *force*). Kadang-kadang sebuah vektor juga diberi notasi berupa huruf besar dengan satu tanda panah di atas keduanya, misalnya vector perpindahan sebuah benda yang bergerak dari titik A ke titik B diberi notasi.

Sebuah vektor dapat digambarkan sebagai potongan garis lurus berarah (anak panah), yang batasan-batasannya adalah sebagai berikut:

1. Titik awal tanda anak panah adalah titik tangkap vektor. Titik tangkap vektor artinya titik kedudukan tempat vektor itu mulai bekerja.
2. Panjang tanda anak panah menyatakan nilai atau besar vektor, vector yang lebih besar digambarkan dengan anak panah yang lebih panjang, begitu juga sebaliknya, vektor yang lebih kecil digambarkan dengan anak panah yang lebih pendek. Nilai atau besar vektor diberi notasi dengan huruf yang sama dengan vektor yang bersangkutan tetapi tanpa tanda anak panah di atasnya atau tidak dicetak tebal, atau sama dengan notasi vektor tetapi di dalam tanda harga mutlak. Misalnya, besar vektor adalah AB atau $|AB|$.
3. Arah anak panah menggambarkan vektor. Untuk arah ini biasanya digunakan istilah arah ke kanan (\rightarrow), arah ke kiri (\leftarrow), arah ke atas (\uparrow), arah ke bawah (\downarrow), tegak lurus bidang gambar menuju pembaca (\bullet) dan arah tegak lurus bidang gambar menjauhi pembaca (\times). Pada bidang kartesian, arah vektor dinyatakan dengan sudut yang diapit oleh vektor itu dengan sumbu- x positif, sudut yang berputar searah jarum jam diberi tanda negatif dan sudut yang berputar berlawanan arah jarum jam diberi tanda positif.
4. Garis perpanjangan vektor disebut garis kerja vektor, misalnya garis l . Untuk kepentingan operasi vektor misalnya penjumlahan, selisih dan sebagainya, titik tangkap sebuah vektor dapat dipindah-pindahkan tetapi dengan tidak mengubah panjang dan arah vektor.

Operasi Vektor

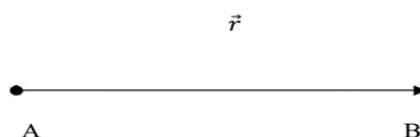
Setiap hari, kita tidak pernah lepas dari yang namanya ukuran. Mulai dari ukuran pakaian yang dikenakan, ukuran sepatu, hingga ukuran jarak tempuh dan waktu tempuh pun kita perlukan. Hampir setiap saat kita selalu mencari patokan dalam menentukan suatu ukuran, karena hal tersebut sangat penting dan bahkan dapat menentukan pola hidup dan kehidupan kita.

Dalam ilmu fisika, kita kenal istilah besaran yang hanya memiliki nilai saja dan besaran yang memiliki nilai dan arah. Missal, tinggi badan seseorang hanya memiliki nilai saja, sedangkan kecepatan mobil di jalan tol memiliki nilai dan arah tentunya. Sehingga, besaran yang hanya memiliki nilai saja disebut sebagai besaran scalar dan besaran yang memiliki nilai dan arah disebut sebagai besaran vector. Dapatkah Anda menyebutkan beberapa besaran lain yang termasuk besaran scalar dan besaran vector?

Terdapat empat aspek yang perlu diperhatikan dalam menggambarkan vector, yaitu titik tangkap, titik ujung, Panjang anak panah (vector), dan arah anak panah (vector).

Titik pangkal atau titik tangkap adalah titik tempat besaran yang diwakili oleh vektor tersebut bermula. Apabila vektor yang digambarkan mewakili gaya maka titik pangkal menyatakan titik tempat bekerjanya gaya, namun apabila vektor yang digambarkan menyatakan perpindahan maka titik pangkal vektor perpindahan itu mewakili titik dimulainya perpindahan.

Titik ujung vektor tidak memiliki makna khusus, titik ujung digambar setelah diketahui titik pangkal, panjang dan arah vektor. Panjang anak panah mewakili nilai vektor. Vektor yang lebih panjang memiliki nilai lebih besar. Apabila panjang suatu vektor dua kali panjang vektor yang lain maka nilai vektor tersebut dua kali nilai vektor yang lainnya. Arah anak panah mewakili arah vektor.



Gambar 17. Gambar sebuah vektor \vec{r}

Titik A: Titik pangkal/titik tangkap/titik awal

Titik B: Titik ujung/titik akhir

Panjang vektor $\vec{r} = |\vec{r}|$

Gambar 2.1 menunjukkan sebuah vektor yang berpangkal di titik A dan berujung dititik B. Pada gambar tersebut ditunjukkan pula bahwa arah vektor adalah ke kanan

Penjumlahan Vektor

Selain memiliki nilai Vektor juga memiliki arah, penjumlahan vektor dan penerapan operasi-operasi aljabar lainnya memiliki aturan tertentu. Pada bagian ini dibahas aturan penjumlahan vektor. Penjumlahan vektor dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu:

- 1) Metode jajaran genjang
- 2) Metode segitiga
- 3) Metode poligon (segi banyak)
- 4) Metode uraian/analitis

Setelah belajar cara menjumlahkan vektor dengan berbagai cara, silakan coba kerjakan soal latihan berikut ini.

Contoh 1:

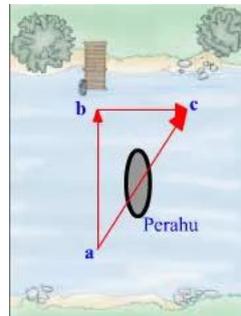
Sebuah perahu menyeberangi sungai yang lebarnya 50 m dan kecepatan airnya 4 m/s. Bila perahu bergerak tegak lurus terhadap arah kecepatan air dengan kecepatan 3 m/s. Tentukan panjang lintasan yang ditempuh oleh perahu dan seberapa jauh perahu menyimpang diukur dari garis tepi sungai?

Jawab:

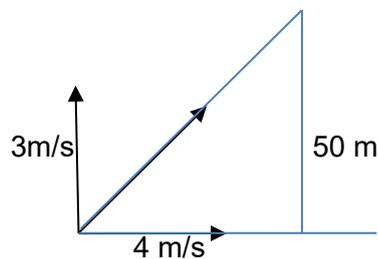
Diketahui:

$v_{\text{perahu}} = 3 \text{ m/s}$

$v_{\text{arus}} = 4 \text{ m/s}$



Gambar 18.(sumber avinurul-wordpress.com



Gambar 19. Ilustrasi Secara Vektor

Langkah pertama kita tentukan terlebih dahulu resultan vektor kecepatannya.

$$\vec{R} = \sqrt{v_{perahu}^2 + v_{ arus}^2}$$

$$\vec{R} = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

$$\vec{R} = \sqrt{25}$$

$$\vec{R} = 5 \text{ m/s}$$

Untuk menentukan besarnya jarak tempuh, maka kita bisa menggunakan perbandingan sisi segitiga.

$$\frac{3}{5} = \frac{50}{x}$$

Sehingga diperoleh : $x = 83,33 \text{ m}$

Arah gerak perahu dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{arc tg } \frac{3}{4} = \theta$$

$$\theta = 36,9^\circ$$

Jadi perahu menempuh jarak 83,3 m dan membentuk sudut $36,9^\circ$ untuk dapat menyeberang sungai.

Perkalian Vektor

Selain dapat dijumlahkan, vektor juga dapat dikalikan. Terdapat dua macam operasi perkalian vektor yaitu :

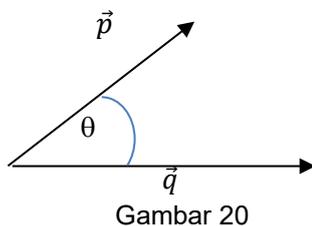
1. Perkalian skalar dengan vektor

Jika sebuah vektor dikalikan dengan sebuah bilangan (skalar) k maka hasil dari perkalian tersebut adalah vektor baru yang panjangnya k kali vektor semula dan arahnya serah dengan vektor semula bila k bernilai positif dan arahnya berlawanan dengan vektor semula bila k bernilai negatif.

2. Perkalian vektor dengan vektor.

Terdapat dua jenis perkalian antara vektor dengan vektor. Pertama perkalian titik (dot product) yang menghasilkan besaran skalar dan kedua perkalian silang (cross product) yang menghasilkan besaran vektor.

a. Perkalian titik (*dot product*)



Dua buah vektor p dan q diilustrasikan seperti gambar 2.4, perkalian titik (dot product) antara dua buah vektor \vec{p} dan \vec{q} menghasilkan r , didefinisikan secara matematis sebagai berikut:

$$\vec{p} \cdot \vec{q} = r$$

\vec{p} dan \vec{q} vektor; sedangkan r besaran skalar. Besar r didefinisikan sebagai persamaan (1.5):

$$r = \vec{p} \cdot \vec{q} \cos \theta$$

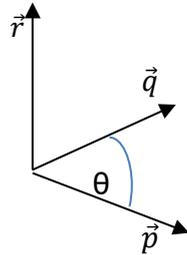
θ = sudut antara vector \vec{p} dan \vec{q} .

Gambar 21

Perkalian silang (cross product)

Perkalian silang (cross product) melibatkan dua buah vector, misalkan \vec{p} dan \vec{q} yang menghasilkan vector \vec{r} .

$$\vec{p} \times \vec{q} = \vec{r}$$



Gambar 21. ilustrasi perkalian vektor

1. Menentukan resultan vector

Bila Anda menjumlahkan atau mengurangi dua atau lebih besaran scalar maka dapat Anda lakukan dengan cara aljabar biasa, langsung dijumlahkan atau dikurangkan. Berbeda bila Anda menjumlahkan atau mengurangi besaran vector.

Untuk menentukan resultan dua buah atau lebih vector, Anda harus meninjau dulu Besar dan arah dari masing-masing vektor yang bekerja pada benda. Bila vector tersebut adalah gaya (karena juga merupakan besaran vector), maka kita harus memperhatikan besar dan arah gaya. Misalkan terdapat 3 buah gaya F_1 , F_2 , dan F_3 , Anda dapat membedakan resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut.

a. Resultan gaya-gaya segaris-lurus

Resultan gaya segaris-lurus dapat ditentukan dengan 2 cara, yaitu:

1) Gaya-gaya searah

Besar resultan gaya yang gaya-gayanya searah dapat ditentukan dengan menjumlahkan semua gaya-gaya yang bekerja pada benda.

$$R_{123} = F_1 + F_2 + F_3$$

2) Gaya-gaya berlawanan arah

Besar resultan gaya yang gaya-gayanya berlawanan arah dapat ditentukan dengan mengurangi gaya-gayanya.

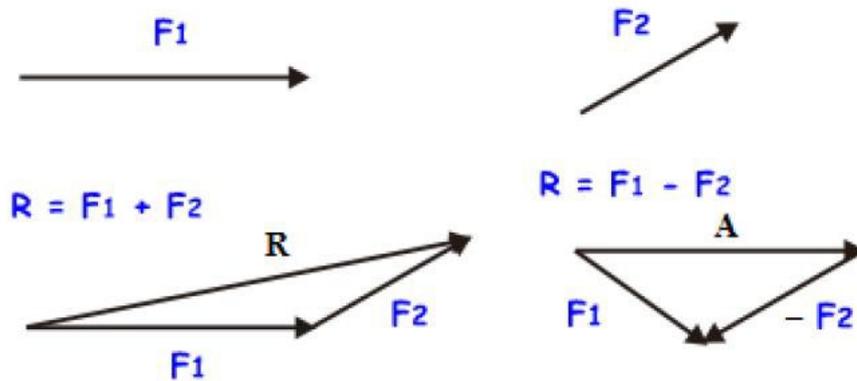
$$R_{12} = F_2 - F_1$$

$$= F_2 + (-F_1)$$

b. Resultan gaya-gaya sebidang datar

Dapat ditentukan dengan beberapa cara, yaitu:

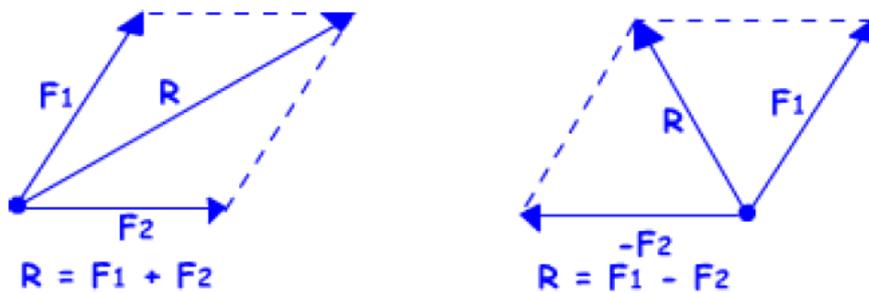
1) Cara Segitiga



Gambar 22. Ilustrasi resultan gaya sebidang datar

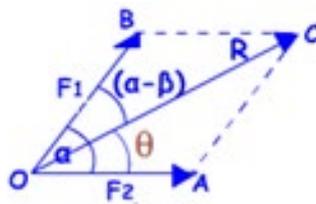
2) Cara Jajaran Genjang

Nilai resultan kedua gaya tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan rumus cosinus:



Gambar 23. ilustrasi resultan vector cara jajaran genjang

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \theta}$$



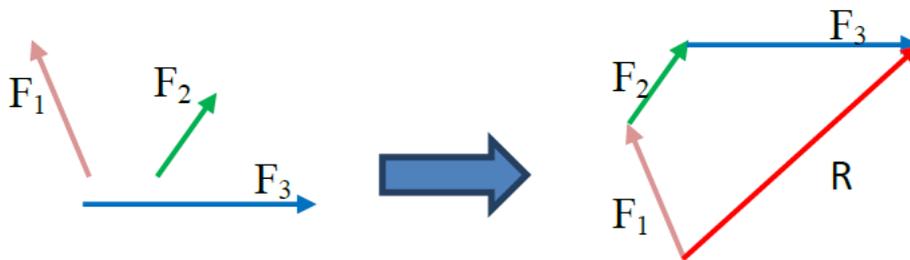
Gambar 24

Perhatikan gambar 24 diatas, dengan arah resultan kedua gaya (θ) menggunakan rumus sinus:

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{F_1}{\sin \theta}$$

3) Cara Poligon

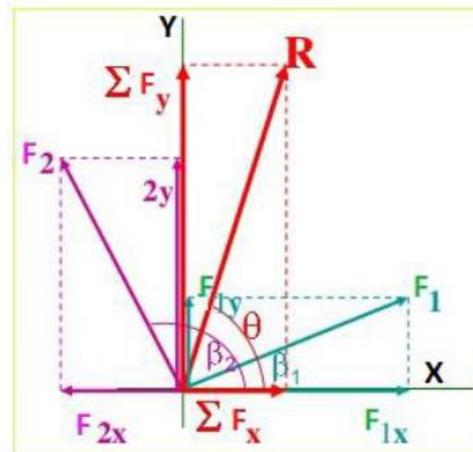
Metoda poligon atau segi banyak adalah suatu cara penjumlahan vector dengan cara meminah-mindahkan vektor ke ujung vektor lainnya dengan selalu memperhatikan ketentuan bahwa: panjang (nilai) dan arah vektornya tidak berubah, misalkan Anda tinjau kembali tiga buah vektor gaya berikut ini.



Gambar 25. ilustrasi cara polygon

4) Metoda Analitis (cara matematis)

Metoda analitis adalah suatu cara penjumlahan gaya (vektor) dengan lebih dulu menguraikan gaya-gayanya ke sumbu-sumbu yang saling tegak lurus. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar 26. ilustrasi metode analitis

Modul Belajar Mandiri

Nilai gaya total pada masing-masing sumbu (F_x dan F_y), dapat kita tentukan dengan cara menjumlahkan secara aljabar komponen-komponen gaya pada setiap sumbu ($F_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx}$ dan $F_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}$).

Komponen gaya pada masing-masing sumbu dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$F_{1x} = F_1 \cos 1 ; F_{2x} = F_2 \cos 2 ; F_{nx} = F_n \cos n$$

$$F_{1y} = F_1 \sin 1 ; F_{2y} = F_2 \sin 2 ; F_{ny} = F_n \sin n$$

Untuk praktisnya dalam mengerjakan soal dapat menggunakan tabulasi seperti berikut.

No	vektor (F)	β	$\sin \beta$	$\cos \beta$	$F_n \cdot \sin \beta$	$F_n \cdot \cos \beta$
1
2
Jumlah komponen vektor-vektor sesumbu				

Selanjutnya untuk menentukan *Nilai resultan gaya* dapat ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya total pada masing-masing sumbu dengan menggunakan persamaan:

$$R = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2}$$

Dengan sudut resultan :

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right]$$

Keterangan:

R : Resultan

F : jumlah aljabar gaya pada masing-masing sumbu

D. Rangkuman

Secara geometris, vector adalah ruas garis yang memiliki besar dan arah. Oleh karena itu, dalam penggambarannya, vector dinyatakan dalam garis lurus yang memiliki arah (dinyatakan dengan anak panah) dan Panjang tertentu. Karena

memiliki arah, maka vector akan dapat memiliki sudut terhadap suatu acuan tertentu. Sehingga dengan demikian, nilai vector sangat dipengaruhi oleh besar sudut yang menjadi acuannya.

Vektor dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya berdasarkan koordinat kartesian. Beberapa vector yang memiliki titik tangkap yang sama akan memiliki resultan vector. Resultan vector ini pun, nilainya tergantung dari sudut yang diapit oleh beberapa vector penyusunnya.

Resultan vector dapat diperoleh dengan beberapa metode, yakni : segitiga, jajanganjang, polygon dan metode analitis.

Pembelajaran 3. GERAK LURUS

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 1. Kinematika
Penulis ; Drs. Tarsisius Sarkin, M.Ed., Ph.D.

A. Kompetensi

1. Menjelaskan penerapan hukum-hukum fisika dalam teknologi terutama yang dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Mengidentifikasi perbedaan gerak lurus dengan kecepatan tetap dan gerak lurus dengan percepatan tetap
2. Menerapkan konsep posisi, jarak, perpindahan, kelajuan, kecepatan dan percepatan
3. Menyelidiki hubungan antar variabel pada gerak lurus dengan kecepatan tetap dan gerak lurus dengan percepatan tetap
4. Menganalisis besaran-besaran fisis pada gerak lurus dengan kecepatan konstan dan gerak lurus dengan percepatan konstan.

C. Uraian Materi

Gerak merupakan fenomena keseharian yang kita alami dan kita lihat dalam kehidupan sehari-hari. Apakah dalam satu hari ini Anda sudah melakukan gerak? Gerak yang dimaksud tidak hanya aktivitas yang kita lakukan saja, namun termasuk benda-benda yang ada di sekitar kita, selama benda tersebut melakukan gerak.



Gambar 27. beberapa contoh 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 relative atau nisbi.

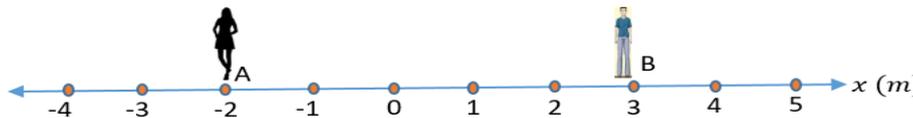
Studi mengenai gerak benda, konsep-konsep gaya, dan energi yang berhubungan, membentuk suatu bidang, yang disebut *mekanika*. Mekanika dibagi menjadi dua bagian, yaitu kinematika dan dinamika. *Kinematika* adalah ilmu yang mempelajari gerak benda tanpa meninjau gaya penyebabnya. Pada bagian ini, Saudara mulai dengan membahas benda yang bergerak tanpa berotasi (berputar). Gerak seperti ini disebut gerak translasi. Pada bagian ini saudara juga akan membahas penjelasan mengenai benda yang bergerak pada jalur yang lurus, yang merupakan gerak satu dimensi. Hal-hal yang akan dipelajari pada unit ini adalah gerak satu dimensi untuk benda yang bergerak lurus dengan kecepatan tetap dan bergerak lurus dengan percepatan tetap.

1. Posisi, jarak, perpindahan, kelajuan dan kecepatan

Posisi merupakan konsep yang sangat penting bukan hanya dalam fisika tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari. Apabila kita menelpon atau berkomunikasi melalui pesan tertulis dengan seseorang, sangat sering kita bertanya: "Posisi Anda di mana?" Manusia akan merasa bingung dan tertekan apabila tidak mengetahui sedang berada di mana. Pada zaman sekarang, posisi seseorang atau sesuatu di alam semesta sudah sangat mudah ditentukan dengan adanya teknologi *Global Positioning System* (GPS).

Lokasi keberadaan suatu benda disebut posisi. Ada berbagai cara untuk menyatakan posisi suatu benda. Di dalam pembahasan ini, posisi benda dinyatakan dengan menggunakan sistem koordinat Cartesius tegak, dan karena topik yang dibahas adalah Gerak Lurus, maka sistem koordinat Cartesian yang

dipergunakan adalah sistem satu dimensi, bisa sumbu X, atau sumbu Y, atau bisa pula sumbu Z.



Gambar 28. Posisi berbeda dalam garis horizontal

Dari gambar diatas, terlihat bahwa posisi A berada pada $x = -2$ m, sedangkan posisi B ada di $x = 3$ m. Atau dapat pula dikatakan bahwa posisi A adalah 2 m disebelah kiri titik acuan 0, posisi B berada pada jarak 3 m dari sebelah kanan titik acuan 0. Atau dapat pula dikatakan bahwa A berada di sebelah kiri (dari arah pembaca) B sejauh 5 m.

Dengan cara yang sama, kita dapat pula menentukan posisi vertical suatu benda berdasarkan titik acuan yang telah ditentukan. Bila titik acuannya adalah 0 (pusat koordinat), maka posisi benda yang berada diatas titik acuan adalah positif dan yang berada di bawah titik acuan adalah negative (karena berada di sumbu y negative).

Contoh :

Seseorang menempuh perjalanan dari Yogyakarta sejauh 35 km ke Magelang. Sementara itu, ada juga orang lain yang menempuh perjalanan dari Magelang sejauh 35 km sampai ke Yogyakarta.

Contoh :

Sebuah obyek bergerak sepanjang lintasan lengkung berbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 5 m dari A ke B. Jarak yang ditempuh olah obyek tersebut adalah setengah dari keliling lingkaran dengan jari-jari.

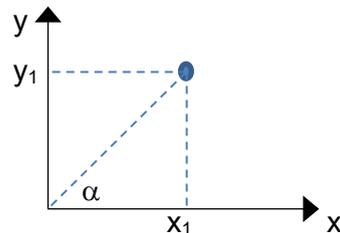
Posisi diartikan sebagai jarak suatu benda pada waktu tertentu terhadap acuan. Posisi dapat dinyatakan dalam bentuk koordinat kartesius $\vec{r}(x, y)$ dan besarnya $|\vec{r}|$, jika hanya dinyatakan dalam dua komponen kartesian, maka vector dapat dituliskan :

$$\vec{r} = xi + yj \rightarrow |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Sedangkan arahnya dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

Keterangan gambar mengenai penjelasan diatas, dapat diilustrasikan pada gambar 3.3.

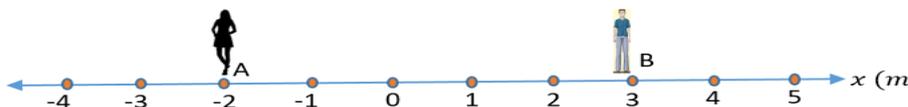


Gambar 29

Perpindahan didefinisikan sebagai perubahan posisi benda dari posisi awal ke posisi akhir. Perpindahan direpresentasikan dengan lambing Δr untuk gerak dua dimensi atau Δx jika geraknya satu dimensi pada sumbu x saja. Besarnya perpindahan dapat dihitung dengan cara vektor, $\Delta r = r_2 - r_1$ atau $\Delta x = x_2 - x_1$ untuk gerak satu dimensi. Perpindahan harus dapat mengandung dua unsur, yaitu panjang dan arah.

Contoh :

Perhatikan Kembali gambar berikut ini.

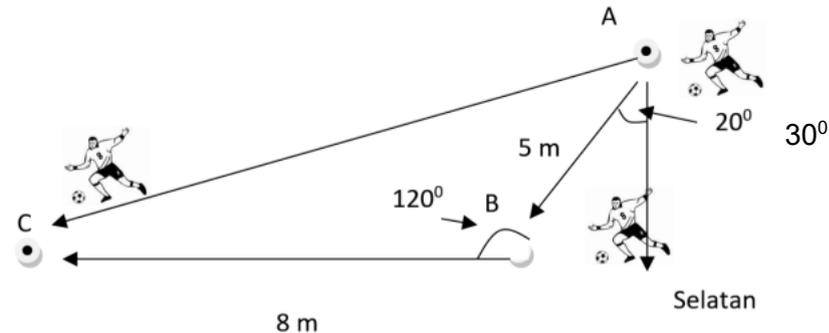


Gambar 30.

Apabila A dan B bertukar posisi, untuk bertukar posisi tersebut masing-masing menjalani perpindahan yang berbeda. Orang A berpindah sejauh 5 m, diperoleh dari $3\text{m} - (-2\text{m}) = 5\text{m}$. Sedangkan orang B berpindah sejauh $-2\text{m} - 3\text{m} = -5\text{m}$. Tanda positif (+) pada perpindahan A menunjukkan bahwa A berpindah ke kanan dan tanda negatif (-) pada perpindahan B menunjukkan bahwa B berpindah ke kiri.

Contoh :

Seorang pemain sepakbola, dalam waktu 10 sekon melakukan pergerakan di lapangan sepakbola dari A ke B kemudian ke C seperti ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 31.

Pada permainan sepak bola di atas, jarak yang ditempuh oleh pemain dari A ke C adalah $(5 + 8) \text{ m} = 13 \text{ m}$.

Sementara itu, bila kita ingin mencari perpindahan pemain dari A ke C, maka harus dihitung dengan menggunakan vektor dengan memperhitungkan sudut lintasan dari A ke B dan ke C. Andaikan sudut belokan di B adalah 120° , maka perpindahan pemain bola adalah:

$$r_{AC} = \sqrt{5^2 + 8^2 - 2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot \cos 120^\circ} = 11,58 \text{ m}$$

Arah perpindahan pada contoh di atas dapat dinyatakan dengan sudut, misalnya sudut terhadap arah selatan.

Apabila hasil perhitungan sudut antara garis perpindahan dengan garis yang menunjuk ke arah selatan adalah β , maka rumusan lengkap dari perpindahan pemain bola pada contoh di atas adalah: Pemain bola berpindah sejauh 11,36 m dengan membentuk sudut β terhadap arah selatan. Perpindahan suatu benda harus memuat panjang dan arah dari perpindahan itu. Jarak dan perpindahan merupakan dua besaran yang kelihatannya memiliki makna yang sama, namun sebenarnya berbeda.

Sedangkan **jarak** adalah Panjang lintasan yang ditempuh benda selama bergerak. Perpindahan besaran vektor dan jarak adalah besaran skalar.

2. Kelajuan dan Kecepatan

Pada bagian awal pembahasan tentang Gerak Lurus telah dibahas konsep-konsep dasar posisi, jarak dan perpindahan. Telah dipelajari pula bahwa suatu benda dinyatakan berpindah apabila dalam selang waktu tertentu posisi benda berubah terhadap acuan tertentu.

Para fisikawan selalu berusaha mendeskripsikan keadaan suatu benda dengan suatu besaran tertentu. Kecepatan merupakan besaran yang mendeskripsikan keadaan gerak benda. Dengan mencermati besaran kecepatan suatu benda pada suatu saat tertentu, dapat diketahui apakah suatu benda bergerak atau tidak dan Bergeraknya ke mana. Selain itu apabila pencermatan terhadap kecepatan benda dilakukan dalam selang waktu tertentu maka dapat diketahui apakah benda yang diamati bergerak makin cepat atau makin lambat.

Saat Anda mengendarai kendaraan, tentunya sesekali pandangan mata Anda akan melihat ke spidometer kendaraan Anda.



Gambar 32. Penunjukkan Spedometer (inews.id)

Jarum spidometer akan menunjukkan pada angka tertentu Ketika kendaraan Anda bergerak. Angka yang ditunjukkan oleh spidometer tersebut, misalnya 110 km/jam adalah nilai kecepatan yang dimiliki kendaraan tersebut. Karena hanya menunjukkan nilai saja, maka angka yang ditunjukkan oleh jarum spidometer merupakan kelajuan. Secara matematis, kelajuan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\bar{v} = \frac{\text{jarak total}}{\text{waktu total}} = \frac{\sum x}{\sum t} \text{ m/s}$$

Lain halnya bila ada seseorang yang berada di pinggir jalan memperhatikan kendaraan yang bergerak melewatinya, maka ia akan mengetahui kemana arah kendaraan tersebut bergerak. Apabila orang tersebut memegang alat pendeteksi kecepatan, maka selain nilai kecepatan dapat diperoleh, ia pun akan mengetahui kemana arah gerak kendaraan. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 33. Polisi pantau kecepatan

Petugas kepolisian dengan alat pendeteksi kecepatan, akan memperoleh informasi nilai kecepatan dan arah gerak kendaraan. Dari kegiatan ini, maka informasi mengenai kecepatan kendaraan dapat diperoleh.

Kecepatan suatu kendaraan, tentunya tidak akan dapat konstan bila kendaraan tersebut melaju dalam situasi lalu lintas di perkotaan. Bahkan seorang pembalap pun tidak akan dapat menjaga kecepatan kendaraannya tetap konstan dalam sirkuit, karena dia akan melakukan percepatan atau perlambatan pada kendaraannya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai kecepatan yang bisa dijadikan sebagai acuan untuk kendaraan yang selalu berubah kecepatannya diperlukan besaran kecepatan yang lain, yaitu kecepatan rata-rata. Kecepatan rata-rata suatu benda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

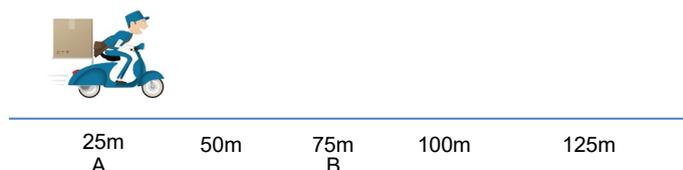
$$\text{kecepatan rata - rata} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}}$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{t}$$

Karena perpindahan adalah besaran vector dan waktu adalah besaran scalar, maka kecepatan rata-rata merupakan besaran vector, sehingga memiliki nilai dan arah

Contoh :

Seorang pengendara sepeda motor berpindah dari A ke B dalam waktu 4 sekon.



Gambar 34.

Kecepatan rata-rata : $v = \frac{(75-25)}{4} = 12,5 \text{ m/s}$

Bila orang tersebut kembali ke titik A dalam waktu 5 sekon, maka kecepatan rata-rata yang dimilikinya menjadi : $v = \frac{(25-75)}{5} = -10 \text{ m/s}$

Berdasarkan dua kondisi diatas, maka diperoleh informasi bahwa arah gerak pengendara motor akan terlihat dari nilai kecepatan rata-ratanya yang bernilai positif atau negative. Nilai kecepatan menyatakan seberapa cepat benda itu bergerak. Nilai kecepatan yang besar berarti dalam waktu singkat menempuh jarak yang panjang/jauh sedangkan nilai kecepatan yang kecil menunjukkan bahwa jarak yang ditempuhnya dalam selang waktu yang sama lebih pendek.

Istilah yang sering dipakai untuk menyatakan nilai kecepatan adalah kelajuan. Karena hanya menyatakan nilai dari kecepatan dan tidak memiliki arah, maka kelajuan merupakan besaran vektor. Dalam bahasa Inggris, kelajuan disebut **speed**, sedangkan kecepatan disebut **velocity**.

Apabila dinyatakan secara matematis, maka kecepatan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\vec{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ m/s}$$

3. Percepatan

Percepatan rata-rata (\vec{a}) didefinisikan sebagai perubahan kecepatan dibagi waktu yang diperlukan untuk perubahan tersebut, maka:

$$\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \text{ m/s}^2$$

Dimana: v_1 = kecepatan awal,

v_2 = kecepatan akhir,

t_1 = waktu saat kecepatan awal,

t_2 = waktu saat kecepatan akhir.

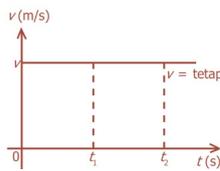
Percepatan juga termasuk besaran vektor, tetapi untuk gerak satu dimensi kita hanya perlu menggunakan tanda positif (+) atau negatif (-) untuk menunjukkan arah relatif terhadap koordinatnya.

4. Gerak Lurus Beraturan

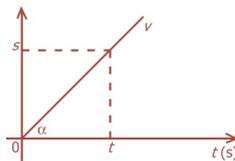
Suatu benda dikatakan mengalami gerak lurus beraturan jika lintasan yang ditempuh oleh benda itu berupa garis lurus dan kecepatannya selalu tetap setiap saat. Sebuah benda yang bergerak lurus menempuh jarak yang sama untuk selang waktu yang sama. Persamaan matematis untuk gerak lurus beraturan dinyatakan sebagai :

$$\vec{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ m/s}$$

Gerak lurus beraturan dapat diilustrasikan dalam bentuk grafik v-t dan x-t, berupa garis lurus, tampak pada gambar berikut.



Gambar 35. Grafik v-t



Gambar 36. grafik x-t

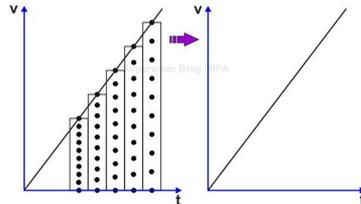
Grafik yang diperoleh dari v terhadap t merupakan suatu garis lurus horizontal yang menunjukkan bahwa nilai kecepatan tetap untuk tiap sekonnya. Grafik yang diperoleh dari jarak terhadap waktu, merupakan garis lurus diagonal. Ini berarti bahwa untuk benda yang sudah bergerak memiliki kecepatan tetap sebesar v, maka jaraknya akan bertambah seiring dengan pertambahan waktu.

5. Gerak Lurus Berubah Beraturan

Gerak lurus yang memiliki kecepatan berubah secara beraturan disebut gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Benda yang bergerak berubah beraturan dapat dipercepat atau diperlambat. Perubahan kecepatan yang dialami benda sifatnya konstan pada setiap selang waktu atau dengan kata lain percepatannya konstan.

Lebih rinci mengenai hubungan antar variabel, grafik, dan contoh GLBB lainnya dijelaskan sebagai berikut.

Percepatan tetap yang dimiliki benda, mengakibatkan kecepatan benda meningkat seperti hasil yang diperoleh dari percobaan menggunakan *ticker timer* berikut.



Gambar 37. Hasil ticker time untuk benda dengan percepatan

Titik-titik dalam pita ketik akan menunjukkan pola yang makin lama makin renggang akibat pita tertarik makin cepat seperti ditunjukkan Gambar. Untuk mendapatkan percepatan tetap yang dapat dipastikan, maka percobaan menggunakan ticker timer dapat dilakukan untuk benda yang bergerak jatuh bebas atau meluncurkan troli pada bidang miring. Bila menggunakan troli, maka gesekan dengan bidang miring harus seminimal mungkin agar mendapatkan pembacaan ticker timer yang akurat.

Apabila diterapkan ke dalam keadaan umum di mana kecepatan mula-mula benda v_0 dan kecepatan benda setelah bergerak selama t sekon berubah menjadi v_t , maka percepatan rata-rata benda dapat ditulis:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

Sehingga diperoleh persamaan :

$$v_t = v_0 + at$$

Kecepatan rata-rata untuk benda yang bergerak lurus berubah beraturan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \frac{v_t + v_0}{2}$$

Pada gerak lurus beraturan berlaku persamaan : $x = x_0 + vt$

$$x = x_0 + \left(\frac{v_t + v_0}{2}\right)t$$

$$x = x_0 + \frac{v_0}{2}t + \frac{v_t}{2}t$$

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

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

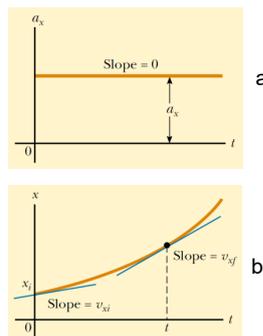
Dengan menggunakan hukum kekekalan energi, maka kita pun dapat memperoleh persamaan yang digunakan untuk gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah sebagai berikut :

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

Dimana:

- x = jarak yang ditempuh benda (m),
- v_0 = kecepatan awal benda (m/s)
- v_t = kecepatan akhir benda (m/s)
- t = waktu yang ditempuh benda (s)
- a = percepatan benda (m/s²)

Jika percepatan benda positif maka benda akan bergerak makin cepat (*speed up*) dan jika bernilai negatif (karena arah percepatan berlawanan dengan arah gerak) maka benda akan bergerak makin lambat (*slow down*). Konsekuensi ini menyebabkan pola garis pada grafik $v-t$ lurus miring (Gambar) karena $v \sim t$ artinya kecepatan sebanding dengan waktu. Sedangkan pada grafik $x-t$ akan ditemukan pola garis yang parabolik ke atas (Gambar) karena $x \sim t^2$ artinya jarak sebanding dengan kuadrat waktu yang dialami benda.



Gambar 38. Pola grafik $a-t$ (gbr a) dan grafik $x-t$ (gbr b) pada gerak lurus beraturan

Gerak vertical keatas (misalnya bola yang dilempar keatas) dan gerak jatuh bebas (misalnya buah yang jatuh dari pohonnya) juga terkatagori sebagai Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB). Gerak vertical keatas merupakan Gerak lurus yang

diperlambat, sedangkan gerak jatuh bebas merupakan gerak lurus yang dipercepat. Persamaan yang berlaku untuk gerak vertical keatas ataupun kebawah hampir sama dengan persamaan GLBB, hanya saja percepatan (a) diganti dengan percepatan gravitasi (g) dan jarak tempuh (s) dinyatakan sebagai ketinggian (h). Persamaan yang dapat digunakan dalam gerak vertical adalah sebagai berikut:

$$v_t = v_o \pm gt$$
$$v_t^2 = v_o^2 \pm 2gh$$
$$h = h_0 + v_0t \pm \frac{1}{2}gt^2$$

dengan

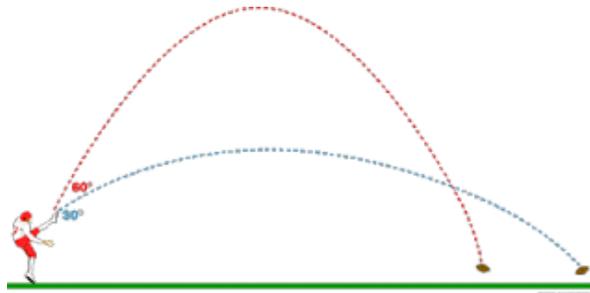
g : percepatan gravitasi (g akan bernilai negatif bila benda bergerak naik)

h : ketinggian saat waktu t

h_0 : ketinggian saat t_0

6. Gerak Parabola

Untuk memulai pembahasan tentang Gerak Parabola marilah kita perhatikan ilustrasi pada Gambar berikut.



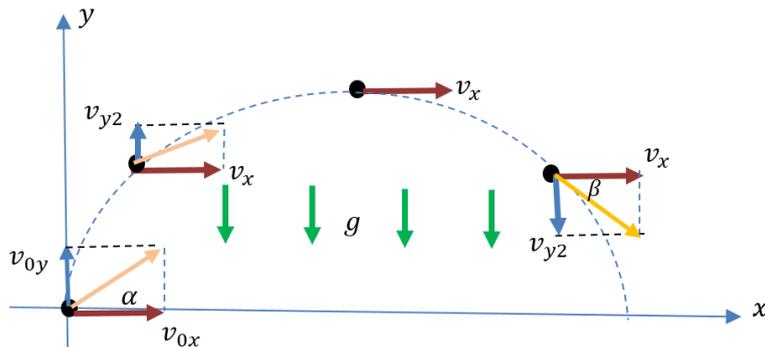
Gambar 39. Lintasan parabola

Dari ilustrasi tersebut, bila bola ditendang dengan kekuatan yang sama, maka jarak tempuh bola bisa berbeda. Hal ini ternyata jarak tempuh tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan awal saja, namun juga dipengaruhi oleh sudut tendangan bola terhadap bidang datar atau yang disebut sebagai sudut elevasi.

Gerak parabola bila kita tinjau dari dua sisi pengamatan berbeda, maka akan diperoleh bahwa gerak parabola memiliki dua jenis lintasan. Bila dilihat dari arah vertical, maka lintasan bola yang terjadi akan tampak berupa garis lurus, bila

pengaruh kecepatan angin diabaikan dan titik tendangan pada permukaan bola adalah di bagian tengah bola. Bila dilihat dari arah samping (seperti ilustrasi pada gambar diatas), maka lintasan yang terlihat akan berbentuk melengkung. Inilah sebabnya, gerak parabola disebut juga sebagai memadu gerak.

Perhatikan gambar berikut, untuk menganalisis gerak parabola secara vector.



Gambar 40. Analisa vector pada gerak parabola

Pada gambar diperlihatkan bahwa pada saat awal bergerak benda memiliki kecepatan v_0 dan memiliki sudut elevasi α . Kecepatan awal v_0 dapat diuraikan menjadi dua komponen kecepatan yang saling tegak lurus yaitu v_{0x} yaitu komponen kecepatan awal dalam arah horisontal dan v_{0y} yaitu komponen kecepatan awal dalam arah vertikal.

Dimana :

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$
$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

Karena gerak parabola mengalami dua dimensi gerak, yaitu dimensi vertikal dan horizontal, maka kita dapat melakukan Analisa terhadap dua kondisi tersebut. Pada gerak horizontal, benda bergerak parabola tidak mengalami percepatan apapun ($a=0$), sehingga dengan demikian dapat dikatakan bahwa gerak parabola pada arah horizontal adalah gerak lurus beraturan (GLB). Akibatnya, kecepatan pada arah horizontal adalah konstan.

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$

Jarak tempuh :

$$x = v_x \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

Jarak tempuh maksimal, diperoleh ketika waktunya sama dengan dua kali waktu mencapai ketinggian maksimum.

Berbeda halnya bila kita meninjau dari arah vertikalnya, gerak parabola pada arah vertical dipengaruhi oleh percepatan gravitasi (g). Akibatnya, gerak parabola pada arah vertical ini merupakan Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB). Sehingga, persamaan-persamaan matematis yang berlaku pada dimensi vertical adalah sebagai berikut.

Kecepatan :

$$v_{ty} = v_{0y} - gt$$

$$v_{ty} = v_0 \sin \alpha - gt$$

Ketinggian :

$$y_t = y_0 + v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$y_t = y_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

Ketinggian maksimum :

$$y_m = y_0 + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

Waktu untuk mencapai ketinggian maksimum, diperoleh ketika $v_y = 0$.

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

D. Rangkuman

Gerak adalah perubahan posisi suatu objek yang diamati yakni dari suatu titik acuan. Titik acuan adalah sebagai titik awal objek ataupun titik tempat pengamat berada. Gerak lurus adalah gerak suatu objek yang berupa garis lurus.

Saat bergerak, objek akan mengalami perubahan jarak dan mengalami perubahan posisi. Sehingga dapat diambil suatu definisi bahwa jarak adalah Panjang seluruh lintasan yang ditempuh suatu objek, sedangkan perpindahan adalah Panjang lintasan lurus yang diukur dari posisi awal ke posisi akhir objek. Perpindahan memiliki besar dan arah.

Untuk objek yang bergerak, akan dikenal istilah kelajuan dan kecepatan. Kelajuan merupakan besaran yang dipengaruhi jarak yang ditempuh tiap selang waktu, sedangkan kecepatan dipengaruhi oleh perpindahan objek untuk tiap selang waktunya.

Gerak Lurus Beraturan (GLB) merupakan gerak lurus yang mempunyai kecepatan yang tetap disebabkan tidak adanya percepatan yang bekerja pada objek. Jadi, nilai percepatannya adalah nol ($a = 0$).

Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) memiliki karakteristik berikut:

1. Lintasannya berupa garis lurus
2. Pada kecepatan benda berubah beraturan
3. Benda mengalami percepatan tetap ($a = \text{konstan}$)

Pembelajaran 4. GERAK MELINGKAR

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 1. Kinematika
Penulis ; Drs. Tarsisius Sarkin, M.Ed., Ph.D.

A. Kompetensi

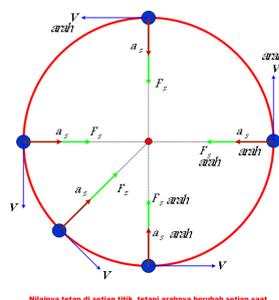
Menganalisis besaran fisis pada gerak melingkar dengan laju konstan dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. menghitung kecepatan sudut benda pada gerak melingkar beraturan
2. menghitung kecepatan linier benda yang bergerak melingkar beraturan
3. menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi percepatan sentripetal suatu benda yang bergerak melingkar beraturan

C. Uraian Materi

Gerak melingkar beraturan adalah gerak yang lintasannya berbentuk lingkaran dengan laju konstan dan arah kecepatan tegak lurus terhadap arah percepatan. Arah kecepatan terus berubah sementara benda bergerak dalam lingkaran tersebut, tampak seperti pada Gambar . Oleh karena percepatan didefinisikan sebagai besar perubahan kecepatan, perubahan arah kecepatan menyebabkan percepatan.



Gambar 41. Gerak Melingkar Beraturan

Frekuensi dan Periode

Sebuah benda yang bergerak melingkar baik gerak melingkar beraturan ataupun yang tidak beraturan, gerakanya akan selalu berulang pada suatu saat tertentu. Banyaknya putaran setiap waktu disebut **frekuensi (f)** sedangkan lama waktu untuk melakukan satu putaran disebut **periode (T)**.

$$f = \frac{n}{t}, \quad T = \frac{t}{n}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Dimana :
f : frekuensi (hertz)
n : jumlah putaran
t : waktu putar (sekon)
T : periode (sekon)

Posisi Benda pada Gerak Melingkar Beraturan

Jari-jari (r) adalah jarak titik partikel terhadap pusat lingkaran atau pusat rotasi yang besarnya tetap. **Posisi partikel** yang sedang bergerak melingkar dapat dinyatakan dengan koordinat polar yaitu representasi antara jari-jari dan sudut sebagai berikut:

$$\vec{r} = f(r, \theta)$$

Dimana:

\vec{r} = posisi partikel yang sedang melakukan gerak melingkar (meter, radian),

r = jari-jari yaitu jarak titik partikel terhadap pusat lingkaran (meter), dan

θ = sudut yang ditempuh partikel saat itu (radian).

Posisi partikel juga dapat dinyatakan dengan fungsi sudut terhadap waktu disebut **Posisi sudut**, yaitu:

$$\theta(t) = \omega \cdot t$$

Dimana:

$\theta(t)$ = besar sudut tempuh benda (rad)

ω = nilai kecepatan sudut (rad/s), dan

t = waktu tempuh benda (s).

Panjang lintasan benda yang bergerak melingkar dapat ditentukan dengan mengalikan besar sudut tempuh (θ) dengan jari-jari lingkaran, yaitu:

$$S = \theta r$$

Dimana:

S = panjang lintasan benda (m)

θ = sudut tempuh benda (rad), dan

r = jari-jari lingkaran (m).

Kecepatan

Kecepatan yang dialami partikel dalam gerak melingkar terdiri atas dua macam yaitu **kecepatan sudut** ($\vec{\omega}$) dan **kecepatan linier** (\vec{v}). Kecepatan sudut dan kecepatan linier memiliki hubungan:

$$\vec{v} = \vec{\omega} r \rightarrow \vec{\omega} = \frac{\vec{v}}{r}$$

Dimana:

$\vec{\omega}$ = Kecepatan sudut (rad/s),

\vec{v} = kecepatan linier (m/s), dan

r = jari-jari lingkaran (m).

Kecepatan sudut rata-rata ($\vec{\omega}$) diperoleh dari selisih posisi sudut dibagi selisih waktunya, yaitu:

$$\vec{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

Dimana:

θ_1 = Posisi sudut awal (rad),

θ_2 = Posisi sudut akhir (rad),

t_1 = waktu saat benda di posisi awal (s), dan

t_2 = waktu saat benda di posisi akhir (s)

Kecepatan sudut sesaat ($\vec{\omega}$) diperoleh dari turunan posisi sudut terhadap waktu, yaitu:

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

Dalam gerak melingkar beraturan kecepatan sudut benda tetap (nilai dan arahnya tetap) maka baik kecepatan sesaat maupun rata-ratanya akan bernilai sama. Sedangkan untuk kecepatan linier nilainya tetap tetapi arahnya selalu berubah. Kecepatan sudut ini sering disebut juga frekuensi sudut karena dapat diperoleh dari frekuensi, yaitu:

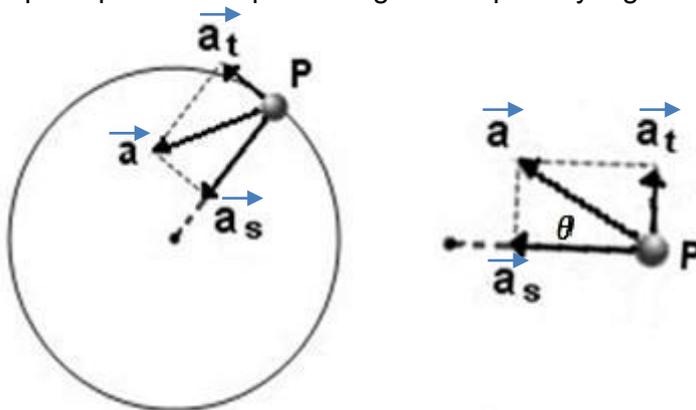
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$

Dimana : $\pi - 3,14$

Percepatan

Percepatan adalah perubahan kecepatan setiap selang waktu. Untuk melihat apakah ada percepatan dalam gerak melingkar khususnya gerak melingkar beraturan, mari kita lihat vektor kecepatan sudut dan vector kecepatan liniernya. Vektor kecepatan sudut ($\vec{\omega}$) memiliki dua komponen yaitu nilai dan arah. Perubahan nilai $\vec{\omega}$ akan menimbulkan **percepatan sudut ($\vec{\alpha}$)** dan dalam hal ini tidak ada perubahan arah $\vec{\omega}$ karena benda tentunya hanya berputar ke satu arah saja tidak bolak balik secara cepat dan terus menerus). Begitu pula vektor kecepatan linier (\vec{v}) mempunyai dua komponen yaitu nilai dan arah. Perubahan nilai \vec{v} akan menimbulkan **percepatan tangensial (\vec{a}_T)** dan perubahan arah \vec{v} akan menimbulkan **percepatan sentripetal (\vec{a}_s)**.

Gambar berikut mengilustrasikan arah percepatan sudut, percepatan tangensial, dan percepatan sentripetal dengan kecepatan yang berubah-ubah



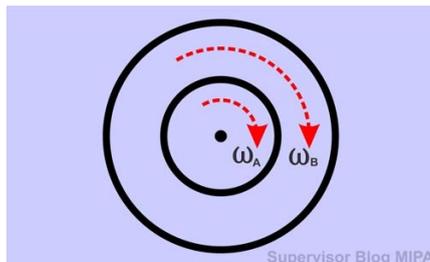
Gambar 42. Percepatan tangensial dan sentripetal

Dari gambar diatas, percepatan \vec{a} merupakan percepatan total sebagai akibat dari resultan yang terjadi antara percepatan sentripetal (\vec{a}_s) dan percepatan tangensial (\vec{a}_T)

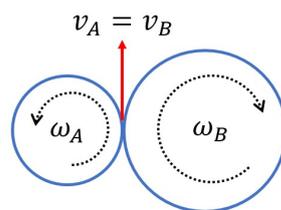
$$\vec{a} = \sqrt{\vec{a}_s^2 + \vec{a}_T^2}$$

Roda-roda terhubung

Gerak melingkar dapat dipindahkan dari sebuah benda berbentuk lingkaran ke benda lain yang juga berbentuk lingkaran, misalnya antara gir dengan roda pada sepeda. Hubungan roda-roda pada gerak melingkar dapat berupa system langsung yaitu dengan memakai roda-roda gigi atau roda-roda gesek. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 43. Roda sepusat (sumber : fisikabc.com)

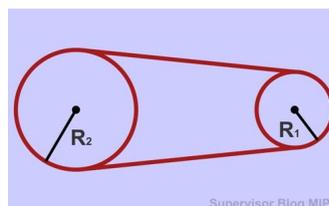


Gambar 44. roda tidak sepusat

Hubungan kedua roda:

$$\omega_1 = \omega_2$$

Hubung roda-roda untuk sistem tak langsung (perhatikan gambar berikut)



Gambar 45. Roda system tak langsung (sumber fisikabc.com)

$$v_1 = v_2 \rightarrow \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$

Dimana:

v_1 = kecepatan linier roda 1 (m/s)

v_2 = kecepatan linier roda 2 (m/s)

ω_1 = kecepatan sudut roda 1 (rad/s)

ω_2 = kecepatan sudut roda 2 (rad/s)

r_1 = jari-jari roda 1, dan

r_2 = jari-jari roda 2 (m).

D. Rangkuman

1. **Gerak melingkar beraturan** (GMB) adalah gerak suatu benda pada lintasan lingkaran dengan arah kecepatan yang berubah-ubah selalu tegak lurus dengan arah percepatan. Namun pada fenomena GMB meskipun kecepataannya berubah, lajunya tetap konstan.
2. Gerak melingkar beraturan ialah suatu gerak yang lintasannya berbentuk lingkaran dengan laju konstan dan arah kecepatan tegak lurus terhadap arah percepatan. Arah kecepatan terus berubah sementara benda bergerak dalam lingkaran tersebut, tampak seperti pada gambar diatas. Oleh karena percepatan didefinisikan sebagai besar perubahan kecepatan, suatu perubahan arah kecepatan mengakibatkan percepatan sebagaimana juga perubahan besar kecepatan. Dengan demikian, benda yang mengelilingi suatu lingkaran terus dipercepat, bahkan ketika lajunya tetap konstan ($v_1 = v_2 = v$).
3. Benda yang bergerak melingkar memiliki kecepatan sudut ω . Semakin besar kecepatan sudutnya, maka benda akan mengalami percepatan sudut α . Karenanya, percepatan sudut α , didefinisikan sebagai perubahan kecepatan sudut tiap satuan waktu.

Pembelajaran 5. DINAMIKA ROTASI

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 2. Dinamika
Penulis ; Albertus Hariwangsa Panuluh, M.Sc.

A. Kompetensi

1. Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel.
2. Menjelaskan penerapan hukum-hukum fisika dalam teknologi terutama yang dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari.

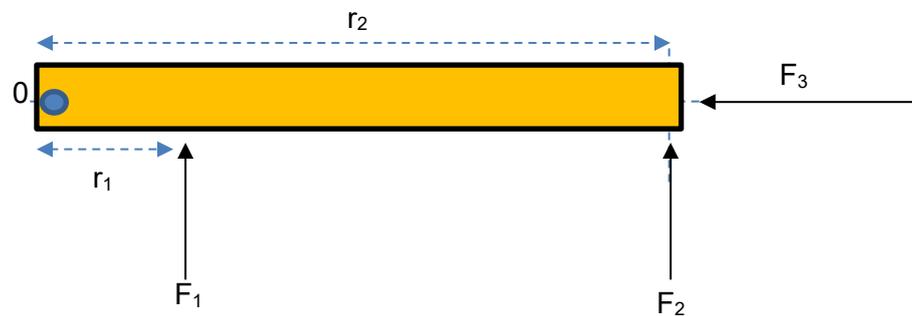
B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Membandingkan besaran pada gerak translasi dan rotasi
2. Menjelaskan konsep torsi
3. Menjelaskan konsep momen gaya
4. Menerapkan konsep momen inersia
5. Menerapkan konsep kesetimbangan benda tegar
6. Menerapkan konsep dinamika rotasi
7. Menganalisis hukum kekekalan momentum sudut

C. Uraian Materi

Dalam pembahasan mengenai Hukum Newton, telah Anda ketahui bahwa dalam resultan gaya yang bekerja pada suatu benda akan mengakibatkan perubahan percepatan pada benda tersebut. Resultan gaya tersebut akan menyebabkan terjadinya gerak bergeser suatu benda (translasi). Selain gerak translasi, dikenal pula gerak rotasi (berputar). Apakah yang dapat menyebabkan terjadinya gerak rotasi?

Gerak rotasi pun disebabkan oleh sejumlah gaya yang bekerja pada suatu benda. Bagaimanakah gaya ini dapat menyebabkan terjadinya gerak rotasi, perhatikan gambar berikut.



Gambar 46. Ilustrasi pengaruh gaya

Dari gambar diatas, 3 buah gaya bekerja pada sebuah batang/tongkat yang memiliki pusat putaran di titik O. F1 memiliki jarak sebesar r1 terhadap titik O, F2 memiliki jarak sebesar r2 terhadap titik O dan F3 bekerja pada tongkat namun tidak memiliki jarak terhadap titik O. Mengapa demikian?

F1 dan F2 karena memiliki jarak terhadap pusat putaran, maka akan mengakibatkan tongkat berputar. F3 tidak akan mengakibatkan tongkat berputar, karena apabila kita Tarik garis lurus, ternyata titik kerja gaya ini akan melewati pusat putaran O, sehingga dengan demikian, F3 tidak memiliki jarak terhadap pusat putaran O, tapi bekerja pada pusat putaran O.

Karena F1 dan F2 dapat mengakibatkan tongkat berputar diporosnya, maka kedua gaya tersebut dikatakan dapat menimbulkan momen gaya/torsi. Torsi dilambangkan sebagai τ , dengan persamaannya adalah :

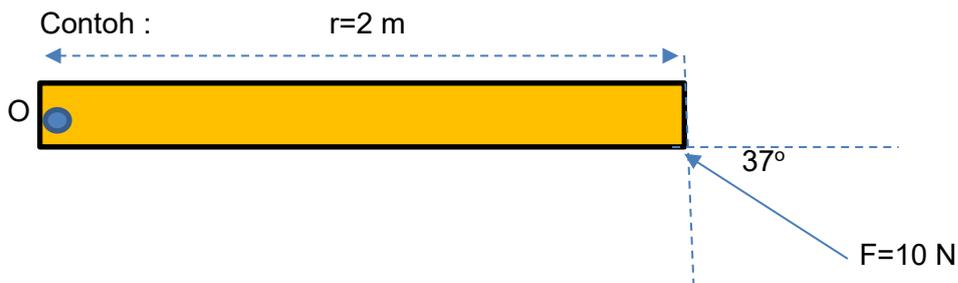
$$\tau = rF$$

Dengan τ adalah torsi/momen gaya (Nm), r adalah lengan torsi (m), dan F adalah gaya yang memiliki jarak terhadap pusat putaran (N). Karena r adalah lengan/jarak gaya (F) terhadap pusat putaran, maka posisi gaya (F) terhadap lengan (r) haruslah tegak lurus. Dengan demikian momen gaya akan memiliki arah putaran, sehingga momen gaya merupakan besaran vector. Persamaan momen gaya/torsi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}_{\perp} = rF \sin \theta$$

Dengan θ adalah sudut yang dibentuk antara r dan F.

Bagaimana dengan arah momen gaya? Secara konvensi, torsi akan bernilai positif (+) jika gaya memutar benda berlawanan arah jarum jam terhadap poros dan negatif (-) apabila gaya memutar benda searah jarum jam. Bagaimana jika gaya yang bekerja pada suatu benda membentuk suatu sudut? Perhatikan contoh berikut ini.



Tentukanlah besar momen gaya dan arahnya !

Karena gaya F membentuk sudut sebesar 37° terhadap garis horizontal, maka komponen gaya yang tegak lurus terhadap lengannya adalah :

$$F \sin 37^\circ = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

Sehingga diperoleh momen gaya/torsinya sebesar :

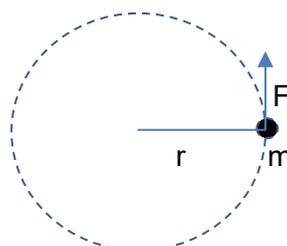
$$\tau = r \cdot F \sin 37 = 2 \cdot 6 = 12 \text{ Nm}$$

Dengan arah berlawanan arah jarum jam (+)

Momen Inersia

Pada gerak translasi, percepatan linear (a) tidak hanya sebanding dengan resultan gaya ΣF namun juga berbanding terbalik dengan massa benda m .

Pertama-tama kita tinjau sebuah partikel bermassa m bergerak melingkar diikat pada tali dengan jari-jari gerak melingkar r dan terdapat gaya F yang menyinggung lintasan seperti pada Gambar berikut.



Gambar 47. ilustrasi momen gaya

Torsi yang dialami oleh benda m adalah :

$$\tau = rF$$

Bila kita masukkan persamaan gaya adalah

$$F = ma_{\perp}$$

Bila percepatan a_{\perp} adalah percepatan tangensial, maka akan diperoleh :

$$a_{\perp} = \alpha r$$

Sehingga diperoleh

$$\tau = rF = rmar$$

$$\tau = mr^2 a \text{ (Nm)}$$

dengan didefinisikan mr^2 adalah suatu besaran yang menunjukkan kelembaman rotasi benda yang disebut **momen inersia**.

Momen inersia untuk system partikel

Bagaimana untuk kasus sistem partikel yang terdiri atas lebih dari satu partikel? Andaikan partikel bermassa $m_1, m_2, m_3, \dots, m_N$. Maka kita bisa jumlahkan torsi semua partikel. Sehingga persamaan diatas menjadi :

$$\sum \tau = \left(\sum [mr^2] \right) \alpha$$

Karena nilai α sama untuk semua partikel, maka persamaan momen gaya diatas akan menjadi persamaan inersia :

$$I = \sum mr^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots$$

Maka persamaan momen gaya akan menjadi :

$$\sum \tau = I\alpha$$

Contoh :

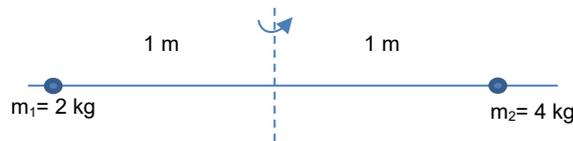
Dua buah benda bermassa 2 kg dan 4 kg terpisah sejauh 2 m yang terpasang pada suatu tongkat ringan (massa tongkat diabaikan). Hitunglah momen inersia dari sistem jika:

(a) sumbu putar terletak tepat di tengah-tengah antara kedua benda

(b) sumbu putar terletak di sejauh 1 m di sebelah kanan benda bermassa 4 kg.

Jawab:

Perhatikan gambar berikut:



Ada dua benda pada sistem, sehingga gunakan Persamaan inersia untuk mengerjakan:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 = (2)(1)^2 + (4)(1)^2 = 6 \text{ kgm}^2$$

Perhatikan gambar berikut:



Nilai inersia system tersebut diatas adalah:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 = (2)(3)^2 + (4)(1)^2 = 22 \text{ kgm}^2$$

Momen Inersia untuk benda Kontinu

Benda kontinu dapat memiliki momen inersia selama ada bagian dari benda yang berputar terhadap salah satu sisinya. Benda kontinu yang dimaksud adalah benda yang memiliki distribusi partikel secara merata, misalnya seperti tongkat, selimut bola, bola pejal, selimut silinder, silinder pejal, dan lain-lain. Perhitungan momen inersia untuk benda kontinu menggunakan operasi integral seperti berikut ini.

$$I = \int r^2 dm$$

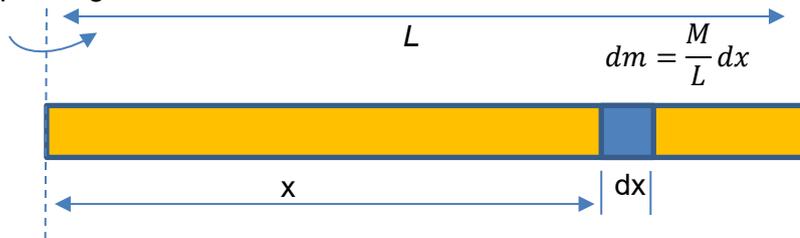
Dengan r adalah jarak elemen massa dm terhadap sumbu putar.

Contoh :

Cari momen inersia dari tongkat sepanjang L dan bermassa m yang terdistribusi merata dengan sumbu putar yang terletak pada salah satu ujung tongkat dan tegak lurus dengan tongkat!

Jawab:

Sebelumnya bila kita asumsikan bahwa tongkat adalah tipis sekali, sehingga dapat dianggap sebagai benda satu dimensi.



Gambar 5.3. Tongkat tipis yang diputar di salah ujungnya

Apabila $\lambda = \frac{M}{L}$, maka akan diperoleh persamaan

$$dm = \lambda dx = \frac{M}{L} dx$$

Sehingga bila dimasukkan kedalam persamaan integral diatas akan menjadi:

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \left(\frac{M}{L}\right) dx$$

Karena jarak elemen massa dm ke pusat putaran adalah x , maka r dapat diganti menjadi x . Akibatnya persamaan diatas menjadi:

$$I = \int x^2 \left(\frac{M}{L}\right) dx = \frac{M}{L} \int x^2 dx = \frac{1}{3} ML^2$$

Teorema Sumbu Sejajar

Terdapat suatu teorema yang disebut teorema sumbu sejajar. Apabila kita mengetahui nilai momen inersia suatu benda kontinu yang diputar pada sumbu yang melewati titik pusat massanya, maka kita dapat menghitung momen inersia benda tersebut apabila sumbu putar terletak sejauh h dari sumbu yang melewati pusat massanya. Apabila I_{pm} adalah momen inersia suatu benda kontinu bermassa M yang diputar pada sumbu yang melewati titik pusat massanya, maka teorema sumbu sejajar dapat dituliskan.

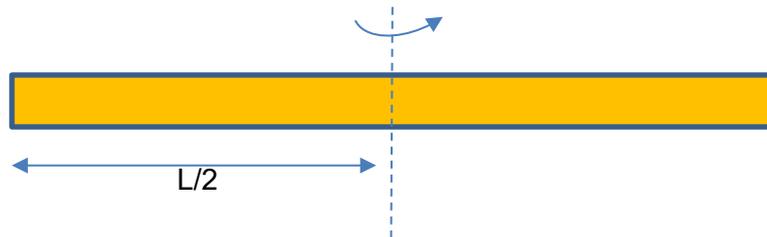
$$I = I_{pm} + Mh^2$$

Contoh :

Hitunglah momen inersia dari tongkat tipis dengan sumbu putar yang melewati pusat massanya!

Jawab :

Kita gunakan informasi momen inersia tongkat tipis yang diputar pada ujung tongkat seperti pada contoh 3 yaitu $I = \frac{1}{3}ML^2$. Letak pusat massa dari tongkat tipis adalah di tengah-tengah tongkat seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Sehingga diperoleh persamaan :

$$I = \frac{1}{3}ML^2 - M\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{1}{12}ML^2$$

Berikut ini diberikan table persamaan momen inersia untuk beberapa benda.

Tabel 3. Persamaan momen inersia

$I = \frac{1}{2}ML^2$ 	$I = \frac{1}{3}ML^2$ 	$I = \frac{1}{2}M(a^2 + b^2)$
(a) Batang silinder, poros melalui pusat.	(b) Batang silinder, poros melalui ujung.	(c) Pelat segiempat, poros melalui pusat.
$I = \frac{1}{3}Ma$ 	$I = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$ 	$I = \frac{1}{2}MR^2$
(d) Pelat segiempat tipis, poros sepanjang tepi.	(e) Silinder berongga.	(f) Silinder pejal.
$I = MR^2$ 	$I = \frac{2}{5}MR^2$ 	$I = \frac{2}{3}MR^2$
(g) Silinder tipis berongga.	(h) Bola pejal.	(i) Bola tipis berongga.

Sumber: Quipper Video

Penerapan Dinamika Rotasi

Saat anda mempelajari Modul Hukum Newton, banyak penerapan yang berkaitan dengan katrol. Namun pada saat itu massa katrol diabaikan. Padahal dalam kehidupan sehari-hari, katrol memiliki peran dengan kata lain tidak dapat diabaikan. Beberapa asumsi dilakukan yaitu tali tidak slip saat berputar bersama katrol sehingga kecepatan linear dari tali sama dengan kecepatan tangensial dari katrol. Sehingga diperoleh

$$v = R\omega$$

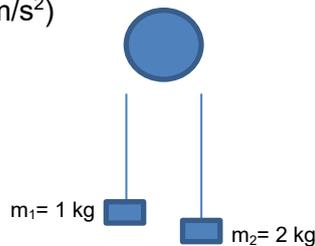
dengan v , R , dan ω adalah kecepatan tangensial katrol, jari-jari katrol dan kecepatan sudut katrol berturut-turut. Apabila Persamaan kecepatan tersebut diturunkan terhadap waktu maka diperoleh:

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

Percepatan diatas merupakan percepatan tangensial yang dapat diterapkan dalam menentukan percepatan sudut dan percepatan tangensial pada system katrol.

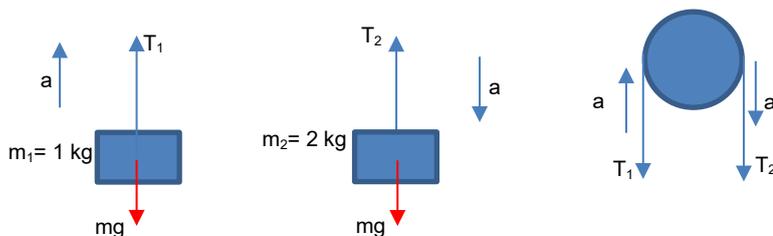
Contoh:

Pada gambar berikut terdapat system katrol yang dibebani oleh dua buah benda yang dihubungkan dengan tali. Massa masing-masing benda adalah 1 kg dan 2 kg. Bila jari-jari katrol 10 cm, massa katrol 2 kg, tentukanlah percepatan system katrol tersebut ! ($g=10\text{m/s}^2$)



Jawab :

Karena m_2 lebih besar massanya dibandingkan m_1 , maka katrol akan berputar ke arah kanan. Bila dibuat Analisa gambarnya adalah sebagai berikut.



Untuk benda 1, berlaku Hukum 2 Newton:

$$\sum F = m \cdot a$$

$$T_1 - m_1 g = m_1 a$$

$$T_1 = m_1 a + m_1 g$$

Untuk benda 2, berlaku juga Hukum 2 Newton :

$$\sum F = m \cdot a$$

$$m_2 g - T_2 = m_2 a$$

$$T_2 = m_2 g - m_2 a$$

Pada katrol akan berlaku persamaan dinamika rotasi, sebagai berikut:

$$\sum \tau = \sum FR = I\alpha$$

$$(T_2 - T_1)R = \frac{1}{2}MR^2\alpha$$

Kemudian, kita masukkan persamaan T1, T2 dan α , maka akan diperoleh:

$$((m_2 g - m_2 a) - (m_1 a + m_1 g))R = \frac{1}{2}MR^2 \frac{a}{R}$$

Akan diperoleh persamaan:

$$m_2 g - m_1 g = \frac{1}{2}Ma + m_1 a + m_2 a$$

$$(m_2 - m_1)g = \left(\frac{1}{2}M + m_1 + m_2\right)a$$

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{\left(\frac{1}{2}M + m_1 + m_2\right)}$$

$$a = \frac{(2 - 1)10}{\left(\frac{1}{2}2 + 1 + 2\right)} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ m/s}^2$$

Gerak Menggelinding

Gerak Menggelinding berbeda dengan gerak rotasi. Suatu benda dikatakan berotasi bila benda tersebut berputar pada satu titik dan tidak mengalami perpindahan tempat, sedangkan benda akan dikatakan bergerak menggelinding bila berputar pada satu titik sumbu putar namun juga mengalami perpindahan tempat. Akibatnya benda yang menggelinding akan memiliki jarak tempuh selama ia berotasi pada sumbu putarnya. Misal : jarum jam yang berputar merupakan gerak rotasi, sedangkan roda pada kendaraan yang bergerak mengalami gerak menggelinding.

Benda yang bergerak menggelinding dapat juga disebut mengalami gerak rotasi (berputar pada sumbu) dan translasi (perpindahan). Gerak menggelinding adalah hasil jumlahan atau superposisi dari gerak translasi dan gerak rotasi. Bila benda hanya bergerak translasi maka kecepatan dari setiap titik pada benda sebesar kecepatan pusat massa v_{pm} . Benda hanya bergerak rotasi terhadap pusat massa, maka bila jari-jarinya R ; kecepatan pusat massanya adalah : $v = R\omega$. Untuk benda menggelinding yang tak lain adalah penjumlahan antara gerak translasi dan rotasi, Energi kinetik totalnya merupakan penjumlahan dari energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasi.

$$Ek = Ek_{rotasi} + Ek_{translasi} = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

Contoh :

Sebuah bola pejal bermassa 1 kg dan berjari-jari 10 cm bergerak menggelinding tanpa slip dengan kelajuan pusat massa 2 m/s. Hitung energi kinetik total dari bola pejal tersebut!

Jawab :

$$\text{Momen inersia bola pejal : } I = \frac{2}{5}MR^2$$

$$\text{Kecepatan sudut benda : } \omega = \frac{v}{R}$$

Energi kinetic total :

$$Ek = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}MR^2 \left(\frac{v}{R}\right)^2 + \frac{1}{2}Mv^2$$

$$\text{Diperoleh persamaan : } Ek = \frac{1}{5}Mv^2 + \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{7}{10}Mv^2$$

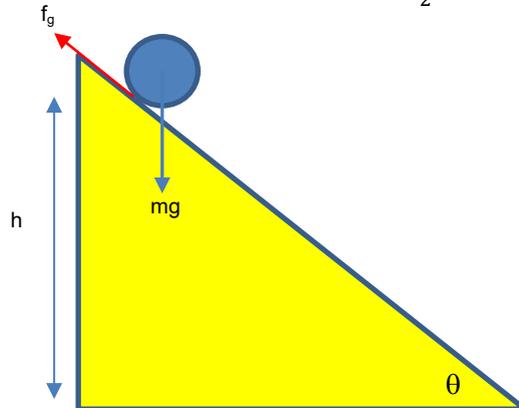
$$\text{Sehingga nilai energi kinetic totalnya adalah : } Ek = \frac{7}{10} \cdot 1 \cdot 2^2 = 2,8 \text{ J}$$

Contoh :

Sebuah silinder pejal bermassa m dan jari-jari R menggelinding tanpa slip menuruni bidang miring kasar dengan kemiringan θ . Hitung percepatan pusat massa yang dialami silinder tersebut

Jawab :

Momen inersia untuk silinder pejal : $I = \frac{1}{2}mR^2$

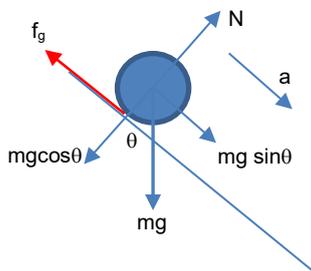


Pada benda akan bekerja gaya gesek (f_g) yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda. Bila kita membuka Kembali konsep mengenai gaya gesek, maka akan diperoleh persamaan gaya gesek adalah:

$$f_g = \mu N$$

Dengan, μ adalah koefisien gesek dan N adalah gaya normal.

Perhatikan gambar berikut, bila kita gaya yang bekerja pada benda dianalisis:



Diperoleh :

$$f_g = \mu \cdot N = \mu \cdot mg \cos\theta$$

$$\sum F = ma$$

$$mg \sin\theta - f_g = ma$$

Gerak rotasi dan translasi yang terjadi mengakibatkan berlakunya :

$$\sum \tau = I\alpha$$

$$f_g R = \frac{1}{2}mR^2 \frac{a}{R}$$

$$f_g = \frac{1}{2}ma$$

Bila persamaan gaya gesek dimasukkan ke persamaan di atasnya, maka akan diperoleh:

$$mg \sin\theta - \frac{1}{2}ma = ma$$

Diperoleh persamaan untuk percepatan a :

$$a = \frac{2}{3}g \sin\theta$$

Persamaan percepatan tersebut berlaku untuk benda yang menggelinding pada bidang miring tanpa mengalami slip.

Contoh :

Hitung kecepatan pusat massa dari silinder pejal pada dasar bidang miring seperti pada contoh soal di atas ! Silinder tersebut mulai menggelinding dari ketinggian h .

Jawab :

Untuk menyelesaikan soal ini, maka kita bisa menggunakan Hukum Kekekalan energi dengan acuan posisi awal benda adalah pada ketinggian h dan posisi akhir benda ada di dasar bidang miring.

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

Saat dititik awal (posisi 1), benda dalam keadaan diam, sehingga energi kinetiknya nol. Setelah mencapai dasar bidang miring (posisi 2), energi potensial benda nol karena sudah tidak memiliki ketinggian h , namun energi kinetiknya adalah energi kinetic total (rotasi dan translasi).

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 + 0$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mR^2\left(\frac{v}{R}\right)^2$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{4}v^2$$

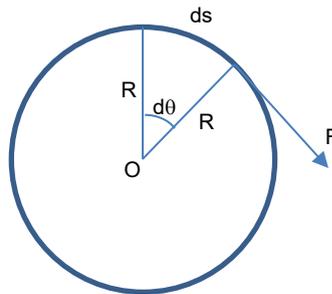
$$gh = \frac{3}{4}v^2$$

Maka kecepatan benda di dasar bidang miring adalah :

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gh} = 2\sqrt{\frac{gh}{3}}$$

Usaha dan Daya pada Gerak Rotasi

Perhatikanlah gambar dibawah, bila gambar berikut adalah sebuah cakram yang diberi gaya singgung F.



Gambar 48

Misalkan suatu gaya tangensial \vec{F} bekerja pada tepi suatu cakram yang berputar dengan sumbu rotasi tepat pada pusat cakram. Selama selang waktu dt cakram berputar sejauh $d\theta$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar diatas. Usaha dW yang dilakukan oleh gaya \vec{F}_{tan} untuk memutar cakram tersebut sejauh ds adalah $dW = F_{tan}ds$, dengan $ds = R d\theta$ sehingga $dW = F_{tan}R d\theta$. Hasil kali $F_{tan}R$ tak lain adalah momen gaya τ , sehingga

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta$$

Sehingga, bila momen gaya bukan merupakan fungsi dari θ , maka persamaan diatas menjadi

$$W = \tau(\theta_2 - \theta_1) = \tau \Delta\theta \text{ (joule)}$$

Dari persamaan sebelumnya, yaitu :

$$\tau = I\alpha$$

Bila percepatan sudut (α) terjadi akibat adanya perubahan kecepatan sudut dalam selang waktu tertentu : $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$, maka persamaan momen gaya menjadi :

$$\tau = I \frac{d\omega}{dt}$$

Sehingga :

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

Akibatnya:

$$\tau d\theta = I\omega d\omega$$
$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I\omega d\omega$$

Diperoleh persamaan usaha pada dinamika rotasi:

$$W = \frac{1}{2}I\omega_2^2 - \frac{1}{2}I\omega_1^2$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa usaha yang terjadi pada dinamika rotasi merupakan perubahan dari energi kinetic rotasinya.

Dari persamaan usaha dinamika rotasi tersebut, dapat juga diperoleh energi tiap waktu (daya) yang dihasilkan oleh benda dengan menurunkan persamaan energi berikut:

$$W = \tau\Delta\theta$$
$$\frac{W}{\Delta t} = \tau \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Diperoleh daya :

$$P = \tau \omega \text{ (watt)}$$

Contoh:

Sebuah motor listrik memberikan suatu momen gaya konstan sebesar 6 Nm pada suatu gerinda yang memiliki momen inersia 2 kg.m/s². Apabila sistem tersebut mula-mula diam, hitunglah: a) usaha dan energi kinetik sistem setelah 10 s; b) Daya yang diberikan oleh motor.

Jawab :

Diketahui : $\tau = 6 \text{ Nm}$, $\omega_1 = 0$, $t = 10 \text{ s}$, $I = 2 \text{ kgm/s}^2$, dapat diperoleh percepatan sudut : $\alpha = \frac{\tau}{I}$. Sehingga akan diperoleh nilai percepatan sudut 3 rad/s².

Untuk mendapatkan usaha, maka kita harus mendapatkan nilai perubahan sudut terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^2 = 150 \text{ rad}$$

Usaha setelah 10 s ;

$$W = 6 \cdot 150 = 900 \text{ Joule}$$

Energi kinetic setelah 10 s ($E_{k_{rot1}} = 0$):

$$W = \Delta E_{k_{rot}} = E_{k_{rot2}} - E_{k_{rot1}}$$

Maka diperoleh : $W = \Delta E_{k_{rot}} = 900 \text{ joule}$

$$\text{Daya yang diberikan : } P = \frac{W}{t} = \frac{900}{10} = 90 \text{ Watt}$$

Momentum Sudut (L)

Momentum sudut merupakan momentum yang dimiliki oleh suatu benda bermassa m dan berputar dengan kecepatan sudut sebesar ω . Oleh karena itu, momentum sudut dapat juga dianalogikan sebagai momentum linear (p). Sehingga persamaan dari momentum sudut adalah:

$$L = r \times p$$

Dengan persamaan momentum linear p adalah: $p = mv$

Maka persamaan momentum sudut menjadi:

$$L = r \times mv$$

Bila persamaan kecepatan v adalah: $v = \omega r$, maka:

$$L = r \times m\omega r = mr^2\omega = I\omega$$

Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Dalam gerak translasi dikenal istilah kekekalan momentum, pada gerak rotasi juga mengenal adanya hukum kekekalan momentum sudut. Bunyi hukum kekekalan momentum berbunyi sebagai berikut:

“Apabila resultan momen gaya yang bekerja pada sistem adalah nol, maka momentum sudut sistem akan konstan”

Secara matematis dapat dituliskan

$$\frac{dL}{dt} = 0$$

Berarti tidak terjadi perubahan momentum tiap waktu, sehingga bisa dituliskan:

$$L_{awal} = L_{akhir}$$

Contoh :

Dua buah cakram masing-masing memiliki momen inersia IA dan IB berputar pada poros yang sama masing-masing ω_A dan ω_B yang arahnya searah. Cakram A kemudian bersatu dengan cakram B menghasilkan kecepatan sudut akhir ω . Hitunglah nilai ω yang dinyatakan dalam variabel yang diketahui!

Jawab :

Hukum Kekekalan momentum sudut :

$$L_{awal} = L_{akhir}$$
$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega$$

$$\omega = \frac{I_1\omega_1 + I_2\omega_2}{I_1 + I_2}$$

Berikut ini adalah table yang menunjukkan relasi antara besaran yang digunakan pada translasi dan rotasi.

Tabel 4. Relasi antar besaran

No	Besaran	translasi	rotasi	Relasi
1	Perpindahan	x	θ	$x=r\theta$
2	Kecepatan	v	ω	$v=r\omega$
3	Percepatan	a	α	$a=r\alpha$
4	Persamaan kinematika	$v = v_0 + at$ $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ $v^2 = v_0^2 + 2as$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\theta = \omega_0t + \frac{1}{2}\alpha t^2$ $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$	
5	Massa	m	I	$I = mr^2$
6	Momentum	$p=mv$	$L=I\omega$	$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
7	Gaya	$F=ma$	$\tau = I\alpha$	$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$
8	Energi kinetik	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$E_{k_{rot}} = \frac{1}{2}I\omega^2$	

Keseimbangan Benda Tegar

Telah diketahui sebelumnya bahwa sebuah benda dikatakan dalam keadaan setimbang bila pada benda tersebut resultan gayanya nol ($\sum F = 0$). Selanjutnya kesetimbangan ini disebut sebagai kesetimbangan translasi. Hal yang sama juga berlaku untuk benda yang berotasi, benda tersebut akan dikatakan berada dalam kesetimbangan rotasi bila resultan momen gayanya nol ($\sum \tau = 0$).

Sehingga bila suatu benda ingin benar-benar dikatakan berada dalam kesetimbangan, maka harus dipenuhi persyaratan

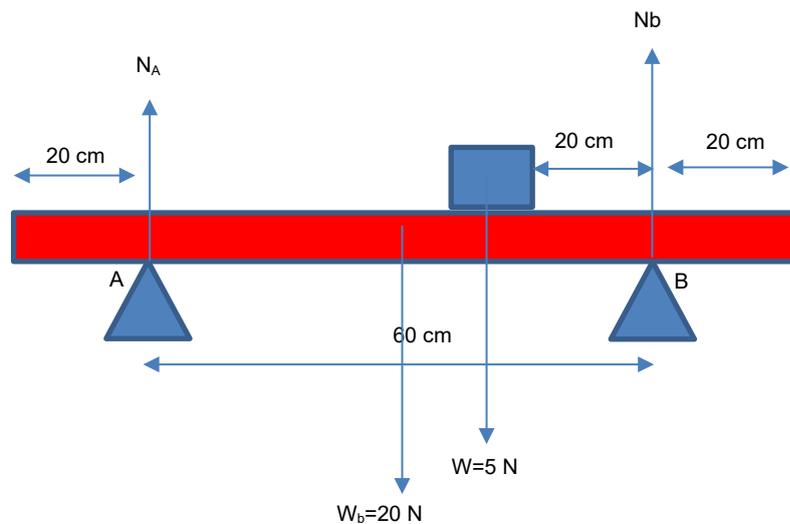
1. $\sum F = 0$, berada dalam kesetimbangan translasi
2. $\sum \tau = 0$, berada dalam kesetimbangan rotasi

Selanjutnya dapat pula ditentukan bahwa bila momen gaya memiliki putaran searah jarum jam bernilai negative, dan bernilai positif bila berputar berlawanan arah jarum jam.

Contoh:

Sebuah batang homogen dengan panjang $L = 1 \text{ m}$ dan massa $M = 2 \text{ kg}$ diletakkan di dua buah poros A dan B yang masing-masing berjarak 20 cm dari ujung kiri dan kanan batang. Sebuah balok bermassa 500 g diletakkan di atas batang sejauh 20 cm dari poros B. Hitung gaya normal pada poros A! ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Jawab:



Gaya normal di B (N_b) tidak mempengaruhi gerak rotasi, karena N_b bekerja di titik putaran sehingga jaraknya nol terhadap B.

Sehingga bila menggunakan kesetimbangan rotasi, maka akan diperoleh :

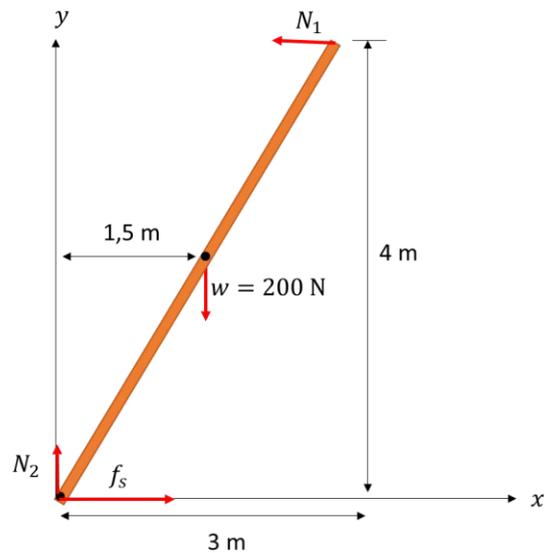
$$\begin{aligned}\sum \tau_B &= W_b \cdot 0,3 + W \cdot 0,2 - N_A \cdot 0,6 = 0 \\ N_A \cdot 0,2 &= W_b \cdot 0,3 + W \cdot 0,2 = 20 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 \\ N_A &= \frac{7}{0,2} = 35 \text{ N}\end{aligned}$$

Contoh :

Sebuah tangga yang memiliki panjang 5 m dan berat 200 N bersandar pada dinding yang licin dan kaki tangga berjarak 3 m dari dinding. Hitung: (a) Gaya normal dan gaya gesek yang dialami kaki tangga; (b) Koefisien gesek statis minimum pada kaki tangga supaya tangga tidak jatuh

Jawab:

Kita gambar diagram gaya dari kasus yang ada pada contoh soal.



Titik berat dari tangga berada di tengah-tengah tangga dengan jarak 3 m dari kaki tangga.

Kita gunakan Persamaan (3.29) untuk arah sumbu-x dan sumbu-y

$$\Sigma F_x = 0$$

$$f_s - N_1 = 0$$

$$f_s = N_1$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N_2 - w = 0$$

$$N_2 = w = 200 \text{ N}$$

Sehingga diperoleh $N_2 = 200 \text{ N}$.

Gunakan kekekalan rotasi dengan membuat titik di kaki tangga sebagai poros

$$\Sigma \tau = 0$$

$$N_1(4) - 200(1,5) = 0$$

$$4N_1 = 300$$

$$N_1 = 75 \text{ N}$$

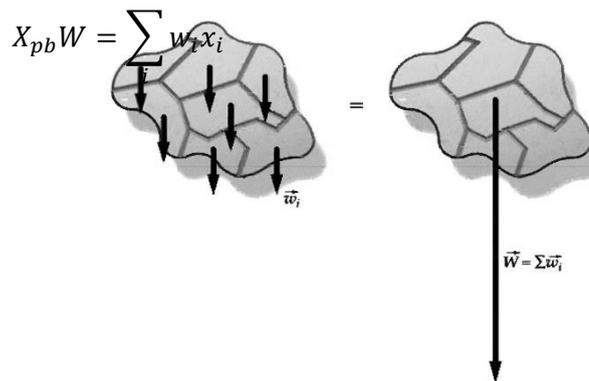
Sehingga gaya gesek statis diperoleh $f_s = N_1 = 75 \text{ N}$

Kita gunakan : $f_s = \mu_s N_2$, sehingga diperoleh :

$$\mu_s = \frac{f_s}{N_2} = \frac{75}{200} = 0,375$$

Titik Berat

Telah Anda ketahui bahwa salah satu gaya yang bekerja pada benda tersebut adalah gaya berat. Patut diingat bahwa gaya berat bekerja pada setiap titik pada benda tegar. Namun, akan lebih mudah apabila diasumsikan bahwa seluruh gaya berat dari benda terkonsentrasi pada satu titik yang disebut **titik berat** dari benda. Jika X_{pg} merupakan letak titik berat pada sumbu- x terhadap titik awal O , maka



persamaan pusat gravitasi adalah

Gambar 5.5. Berat dari suatu benda dapat dikonsentrasikan terletak pada pusat gravitasinya (Gambar: Tipler, 2003).

Apabila percepatan gravitasi konstan di setiap titik pada benda, maka dengan menuliskan $W = Mg$ dan $w_i = m_i g$, Persamaan dapat dituliskan menjadi

$$MX_{pg} = \sum_i m_i x_i$$

yang tak lain merupakan persamaan pusat massa dari benda. Sehingga dapat disimpulkan letak pusat gravitasi dan pusat massa akan sama apabila percepatan gravitasi tersebut uniform.

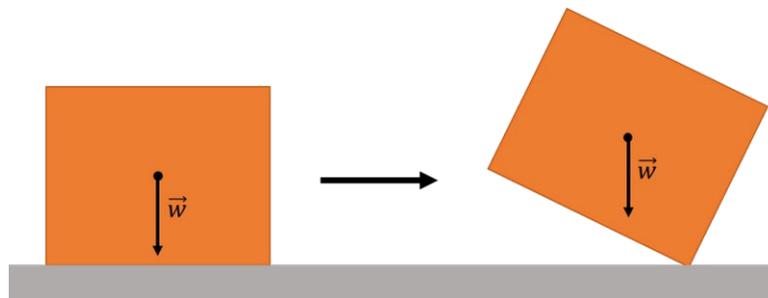
Apabila kita ambil titik asal O adalah pusat gravitasi $X_{pg} = 0$, maka dengan menuliskan $W=Mg$ dan $w = mg$, maka dapat dituliskan :

$$MX_{pg} = \sum_i m_i x_i = 0$$

Persamaan diatas merupakan persamaan pusat massa benda. Sehingga dapat disimpulkan letak pusat gravitasi dan pusat massa akan sama apabila percepatan gravitasi tersebut uniform. Titik pusat massa merupakan titik dimana semua gaya berat yang bekerja pada titik tersebut menghasilkan momen gaya yang bernilai nol.

Kestabilan Benda

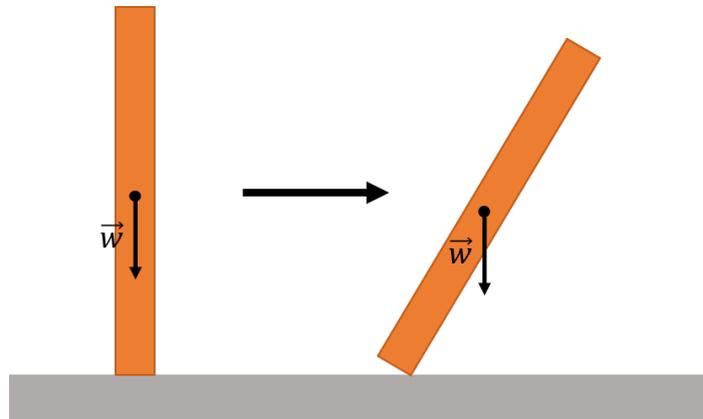
Terdapat tiga jenis kestabilan benda yaitu: stabil, tidak stabil, dan netral. **Kesetimbangan stabil** terjadi apabila meskipun benda diberi perubahan sudut atau gerak rotasi, benda akan kembali kepada keadaan awalnya. Kesetimbangan stabil diilustrasikan pada gambar dibawah.



Gambar 5.6. Benda dikatakan setimbang stabil.

Momen gaya akibat sedikit rotasi lah yang menyebabkan benda kembali pada keadaan setimbang. Gerakan rotasi ini menaikkan pusat gravitasi dari benda sehingga energi potensial gravitasi benda bertambah.

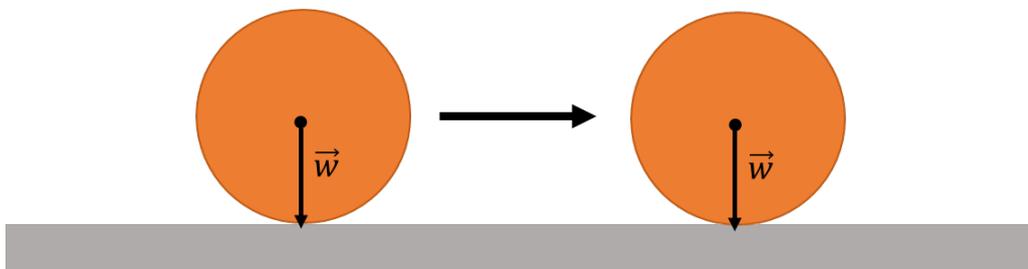
Kesetimbangan tidak stabil terjadi apabila benda diberi perubahan sudut atau gerak rotasi, benda tidak kembali ke keadaan awalnya. Kesetimbangan tidak stabil diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 5.7. Benda dikatakan setimbang tidak stabil

Momen gaya akibat rotasi yang menyebabkan benda tidak kembali pada keadaan setimbang. Gerakan rotasi ini menurunkan pusat gravitasi dari benda sehingga energi potensial gravitasi benda berkurang.

Sebuah silinder yang terletak pada bidang datar mula-mula diam. Kemudian anda beri rotasi sedikit, maka tidak ada gaya atau momen gaya yang menyebabkan benda kembali ke posisi awalnya maupun menjauhi posisi awalnya. Kasus ini disebut **kesetimbangan netral**. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 5.8. Benda dikatakan setimbang netral.

Tinggi dari pusat gravitasi silinder tidak berubah (tingginya sama), sehingga tidak ada perubahan energi potensial gravitasinya.

Dapat disimpulkan bahwa apabila suatu benda sedikit diganggu dari keadaan awalnya yang setimbang, benda dikatakan setimbang stabil jika benda akan kembali pada keadaan awalnya, benda dikatakan setimbang tidak stabil jika benda akan bergerak semakin jauh dari keadaan awalnya, dan benda dikatakan setimbang netral jika tidak ada gaya atau momen gaya yang bekerja pada benda yang menyebabkan benda kembali atau

menjauhi keadaan awalnya. Dapat disimpulkan bahwa apabila suatu benda sedikit diganggu dari keadaan awalnya yang setimbang, benda dikatakan setimbang stabil jika benda akan kembali pada keadaan awalnya, benda dikatakan setimbang tidak stabil jika benda akan bergerak semakin jauh dari keadaan awalnya, dan benda dikatakan setimbang netral jika tidak ada gaya atau momen gaya yang bekerja pada benda yang menyebabkan benda kembali atau menjauhi keadaan awalnya

D. Rangkuman

Momen gaya merupakan suatu besaran yang merupakan analogi bagi gaya dalam gerak rotasi. Momen gaya merupakan besaran yang digunakan untuk mengukur gaya untuk mengubah gerakan rotasi benda. Jika \vec{r} adalah vektor posisi titik tangkap gaya \vec{F} dari poros, maka momen gaya $\vec{\tau}$ secara vektor dituliskan sebagai

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Ukuran kelembaman suatu benda untuk melakukan gerak rotasi disebut Momen Inersia (I). Momen inersia untuk sistem partikel dapat dituliskan

$$I = \sum mr^2$$

Sedangkan momen inersia untuk benda yang terdistribusi kontinu adalah

$$I = \int r^2 dm$$

Hubungan antara momen gaya dan percepatan sudut adalah

$$\sum \tau = I\alpha$$

Sebuah benda tegar terdiri atas banyak partikel. Energi kinetik benda yang berotasi adalah :

$$Ek = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Energi kinetik untuk benda yang bergerak menggelinding tanpa mengalami slip adalah :

$$Ek_{tot} = Ek_{rotasi} + Ek_{translasi}$$

Usaha yang dilakukan oleh momen gaya :

$$W = \tau \Delta \theta$$

Momentum sudut (\vec{L}) merupakan analogi dari momentum linear (\vec{p}). Persamaan dari momentum sudut adalah

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

Benda dikatakan setimbang apabila memenuhi dua syarat berikut:

Resultan momen gaya yang bekerja pada setiap titik pada benda haruslah nol.

$$\Sigma \vec{\tau} = 0$$

Pusat gravitasi adalah titik dimana seluruh gaya berat pada benda terkonsentrasi.

Persamaannya adalah sebagai berikut

$$X_{pb} W = \sum w_i x_i$$

Benda dikatakan setimbang stabil jika benda akan kembali pada keadaan awalnya, benda dikatakan setimbang tidak stabil jika benda akan bergerak semakin jauh dari keadaan awalnya, dan benda dikatakan setimbang netral jika tidak ada gaya atau momen gaya yang bekerja pada benda yang menyebabkan benda kembali atau menjauhi keadaan awalnya.

Pembelajaran 6. Elastisitas dan Gerak Harmonik

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 2. Dinamika
Penulis ; Albertus Hariwangsa Panuluh, M.Sc.

A. Kompetensi

1. Menjelaskan penerapan hukum-hukum fisika dalam teknologi terutama yang dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori fisika serta penerapannya secara fleksibel.
3. Memahami struktur (termasuk hubungan fungsional antar konsep) ilmu Fisika dan ilmu-ilmu lain yang terkait.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Mengidentifikasi besaran-besaran fisis yang dikenai gaya luar
2. Mengukur nilai/besar pertambahan panjang pegas saat dikenai gaya.
3. Mengolah data perubahan panjang pegas menjadi grafik hubungan antara gaya (F) terhadap pertambahan panjang (Δx)
4. Menelaah grafik hubungan gaya (F) terhadap pertambahan panjang (Δx) untuk mendapatkan nilai konstanta pegas.
5. Menelaah hukum Hooke dalam permasalahan kehidupan sehari-hari

C. Uraian Materi

Apakah elastisitas itu? Bahan elastis, akan bertambah panjang bila ditarik dan bila tarikan dilepas, bahan akan kembali seperti semula. Akan tetapi ada batas tertentu untuk menariknya. Contoh lain seperti bambu apus yang bila dibengkokkan akan melengkung, tapi hanya sementara, dan selanjutnya akan kembali lagi seperti semula, akan tetapi bila gaya untuk membengkokkannya terlalu besar, bambu akan patah. Bambu akan patah bila gayanya melebihi batas elastisitasnya. Jadi, apakah elastisitas itu? Elastisitas adalah kemampuan sebuah benda untuk kembali ke bentuk awalnya saat gaya luar yang diberikan dihilangkan. Akan tetapi

bila gaya yang diberikan melebihi batas elastisitasnya benda akan berubah bentuk.

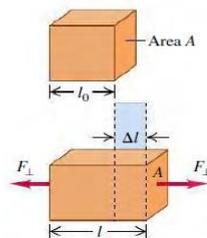
gaya tertentu, maka akan mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk bergantung pada arah dan letak gaya-gaya tersebut diberikan. Apabila arah gaya tegak lurus penampang lintang bahan, maka gayanya disebut gaya tarik atau tekan, sedangkan perubahan bentuk memanjang atau memendek. Apabila gaya diberikan secara tangensial pada bagian atas bahan, maka gaya itu disebut gaya geser. Perubahan bentuk hanya terjadi pada bagian yang diberi gaya, dan tegangannya disebut tegangan geser.

Ada tiga jenis besaran yang mencirikan perubahan bentuk untuk bahan padat, yaitu tegangan, regangan, mampatan. Pertama-tama marilah kita kaji terlebih dulu perlakuan pada **benda padat**. Kita bahas dulu bahan padat yang dikenai **gaya tarik / tekan**. **Tegangan tarik** adalah besarnya gaya tarik yang bekerja pada permukaan benda per satuan luas dan dirumuskan:

Tentunya yang paling pokok adalah gaya yang diberikan kepada benda itu. Besaran-besaran yang lain adalah tegangan, regangan, mampatan dan modulus elastisitas. Apabila benda elastis padat dikenai

$$\text{Tegangan tarik} = \frac{\text{Gaya (N)}}{\text{Luas (m}^2\text{)}}$$
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Regangan tarik adalah penambahan panjang (Δl) pada suatu benda yang diberi gaya tarikan pada permukaan yang berseberangan dibandingkan dengan panjang mula-mula (l_0). Dapat dilihat pada gambar berikut.



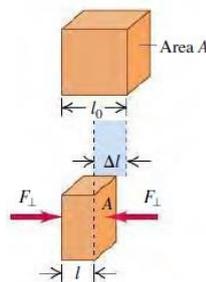
Gambar 49. Benda mengalami regangan (Sumber: Sears Zemansky)

Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Regangan tarik} = \frac{\text{pertambahan panjang}}{\text{panjang mula - mula}}$$

$$e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Mampatan. Sama dengan regangan, perubahan bentuk yang dialami sebuah benda diakibatkan dua buah gaya tekan yang berlawanan arah (menuju pusat benda) dikenakan pada sisi-sisi benda yang berseberangan.



Gambar 50. Benda mengalami mampatan (Sumber: Sears, Zemansky)

Terlihat pada gambar 6.2, pada sisi kiri dan kanan benda dikenai gaya yang sama, yang menuju ke pusat secara tegak lurus, sehingga benda akan termampatkan.

Modulus elastisitas atau **modulus Young** adalah perbandingan antara tegangan dan regangan, dan nilai modulus Young konstan untuk suatu bahan. Modulus Young dapat dirumuskan:

$$\text{Modulus Young} = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}}$$

$$Y = \frac{\sigma}{e} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}$$

Hukum Hooke

Pertambahan panjang yang terjadi apabila pada benda diberikan gaya tarik, akan sebanding dengan gaya tarik tersebut. Hal ini pertama kali diselidiki oleh seorang



arsitek berkebangsaan Inggris Robert Hooke pada abad ke 17. Dia menyelidiki hubungan antara gaya tarik pada pegas dengan pertambahan panjang pegas.

Gambar 6.3. Pegas yang digantungi beban

Suatu pegas dengan elastisitas (konstanta pegas) k digantungi suatu massa m , sehingga pegas mulur sepanjang y . Dari percobaannya, Hooke menunjukkan bahwa mulurnya pegas berbanding lurus dengan gaya yang diberikan. Lebih jauh lagi Hooke menemukan bahwa pertambahan panjang pegas sangat bergantung pada karakteristik dari pegas tersebut. Pegas yang mudah meregang akan mengalami pertambahan panjang yang besar meskipun diberi gaya yang sangat kecil, dan sebaliknya pegas yang sulit meregang, pertambahannya kecil meskipun diberi gaya yang besar. Secara umum yang ditemukan oleh Hooke bisa dinyatakan:

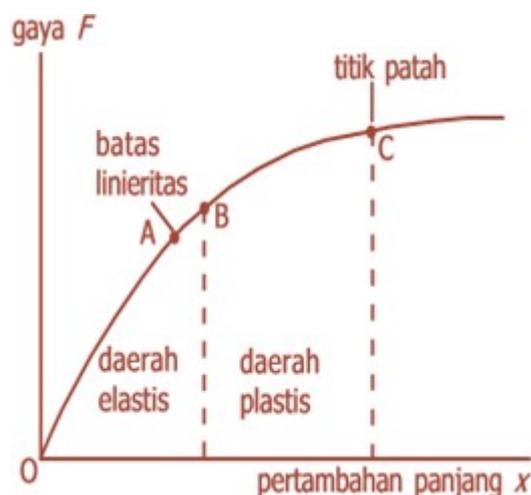
$$\vec{F} = -k\vec{\Delta x}$$

Dengan : F = gaya Tarik (N)

k = tetapan elastisitas pegas

Δx = perubahan Panjang pegas (m)

Tanda minus menunjukkan bahwa arah gaya selalu berlawanan dengan arah simpangan. Bila simpangan ke atas, maka arah gaya ke bawah. Arah gaya selalu menuju pusat pegas. Grafik antara F dan Δx berupa garis lurus, namun pada nilai gaya Tarik yang melebihi batas elastisitas, tidak lagi



berupa garis lurus.

Gambar 6.4. Grafik antara gaya dan pertambahan panjang pegas menurut Hooke

Pegas kehilangan sifat elastisitasnya. Elastisitas pegas berubah menjadi bersifat plastis, dimana pegas tidak akan Kembali ke Panjang semula bila diberi gaya luar. Bila pemberian gaya luar terus diberikan, maka pegas akan memiliki kemungkinan untuk putus/patah.

Keterangan gambar :

OAB : daerah proporsional, Hukum Hooke berlaku disini

BC : daerah plastis

Titik C : batas patah

Contoh :

Seutas kawat logam berdiameter 1,4 mm dan panjang 60 cm digantungi beban bermassa 100 gram. Kawat tersebut bertambah panjang 0,3 mm. Apabila percepatan gravitasi bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$, hitunglah:

- Tegangan
- Regangan,
- Modulus Young bahan

Jawab :

Diameter : $d = 1,4 \text{ mm} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $r = 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Panjang : $l_0 = 60 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Massa : $m = 100 \text{ gram} = 10^{-1} \text{ kg}$

Pertambahan Panjang : $\Delta l = 0,3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

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

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{mg}{\pi r^2} = \frac{10^{-1} \cdot 9,8}{3,14 \cdot (7 \cdot 10^{-4})^2} = 6,36 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Regangan

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^{-3}$$

Modulus Young

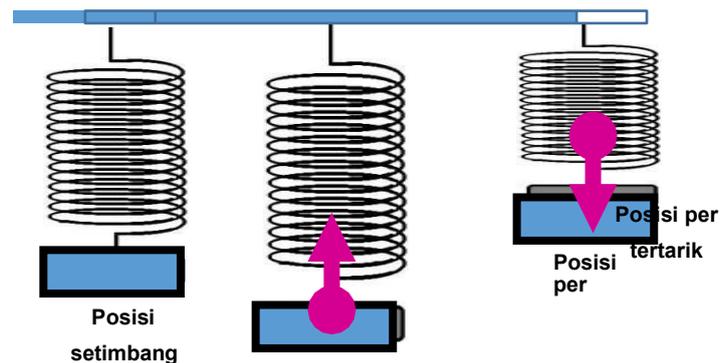
$$Y = \frac{\sigma}{e} = \frac{6,36 \cdot 10^5}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,272 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Getaran Harmonik

Benda yang memiliki gerak berayun atau memiliki gerak bolak balik melalui lintasan yang sama serta melalui titik kesetimbangan dalam kurun waktu tertentu dikatakan sebagai bergerak harmonis. Contoh dari benda yang bergerak harmonis adalah bandul jam, lintasan pegas yang diberi gaya luar lalu dilepaskan, Sebuah bandul jika diberi simpangan ke kiri, ia akan cenderung bergerak ke kanan. Jika diberi simpangan ke kanan, ia akan menormalkan dirinya dengan bergerak ke kiri. Demikian juga sebuah pegas, jika ditekan dia balik menekan. Namun jika ditarik, dia balik menarik ke arah berlawanan. Inilah yang disebut dengan bergetar.karena cenderung melawan dan mempertahankan dirinya dalam keadaan normal, geraknya bolak balik di sekitar titik kesetimbangan dalam waktu yang sama.

Getaran harmonis dalam kehidupan sehari-hari tidak dapat mempertahankan gerakannya dikarenakan adanya hambatan udara. Hal ini dapat diperhatikan dari Gerakan bandul tali yang lama kelamaan simpangannya mengecil.

Sebuah pegas bila ditarik ke bawah, atau ditekan ke atas pasti akan bergerak berlawanan dengan gayanya. Ini berarti ada gaya yang mengembalikan ke posisi setimbangnya. Gaya apa itu? Gaya tersebut adalah gaya pemulih, yaitu gaya yang dimiliki benda elastis untuk mengembalikan ke posisi semula. Akan tetapi, sesampainya di posisi awal (posisi setimbang) benda tidak berhenti, mengapa demikian? Mari kita



bahas masalah ini.

Gambar 51. Sistem Pegas-massa

Saat benda yang tergantung pada pegas ditarik ke bawah, dan kemudian dilepas, tentunya posisinya pada simpangan maksimum. Berapa kecepatannya saat itu? Dan berapa pula percepatannya? Ya tentunya kecepatannya nol. Percepatannya disebabkan adanya gaya pemulih yang bernilai maksimum. Oleh karena itu menurut hukum Newton benda dipercepat sehingga sampai pada titik setimbang benda berkecepatan maksimum. Berapa percepatannya sampai di titik setimbang? Tentunya percepatannya nol, karena gaya pemulihnya pada titik setimbang nol. Adapun beban tetap bergerak naik, itu karena dia punya kecepatan. Percepatan negatif berangsur-angsur bertambah, seiring bertambahnya gaya pemulih, hingga akhirnya berhenti pada simpangan maksimum di posisi teratas. Waktu tempuh dari posisi terbawah sampai posisi setimbang sama dengan waktu tempuh dari posisi teratas hingga posisi setimbang. Demikian seterusnya sehingga terjadi getaran harmonik.

Dengan mengamati pergerakan beban pada pegas pada gambar 6.5 besaran- besaran apa sajakah yang menentukan gerak beban yang bergetar harmonis?

Terdapat beberapa besaran yang tampak dari gambar tersebut, yaitu:

- Amplitudo (A):** adalah simpangan maksimum yang dicapai oleh getaran.
- Periode Getaran (T)** adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan 1 kali getaran (satu getaran sempurna). Yang dimaksud satu getaran sempurna adalah dari gerak dari posisi awal kembali ke posisi awal kembali.
- Frekuensi Getaran (f)** adalah jumlah getaran yang dilakukan dalam 1 sekon

$$f = \frac{1}{T}$$

Bagaimana dengan besaran yang lain? Bagaimana persamaan getarannya? Benda bergerak dipercepat menurut hukum Newton :

$$\sum F = ma$$

Sehingga dapat diperoleh :

$$\sum F = -ky = ma$$

Persamaan diatas merupakan dasar dari gerak harmonik sederhana (GHS). GHS merupakan proyeksi dari gerak melingkar beraturan. Tentunya besaran-besaran yang ada pada GMB juga berlaku pada GHS. Besaran- besaran tersebut adalah:

Kecepatan sudut: yaitu sudut yang ditempuh setiap satuan waktu, dan dilambangkan dengan.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$

Sudut fase (θ) adalah sudut yang ditempuh oleh suatu titik selama melakukan GHS atau GMB, dan besarnya:

$$\theta = \omega t$$

Fase getaran (φ) adalah perbandingan antara lamanya titik yang bergetar (t) dengan periodenya (T), atau perbandingan antara sudut fase (θ) dan sudut fase maksimum (2π).

$$\varphi = \frac{t}{T} = \frac{\theta}{2\pi}$$

Beda Fase ($\Delta \varphi$) adalah selisih fase antara dua posisi titik yang melakukan getaran harmonis, yang besarnya:

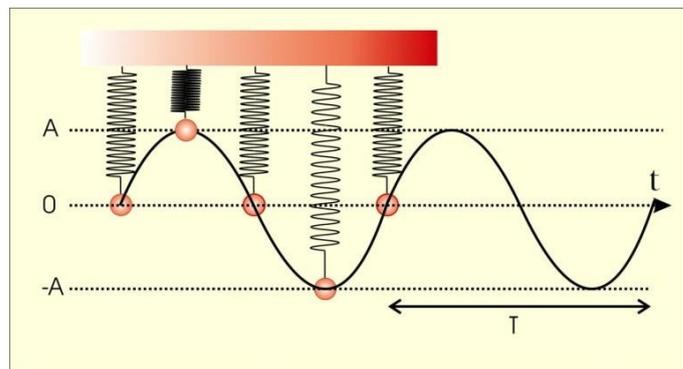
$$\Delta \varphi = \frac{\Delta t}{T} = \frac{\Delta \theta}{2\pi}$$

Simpangan (y) adalah posisi suatu titik yang bergetar selaras terhadap titik kesetimbangan. Dengan memasukkan persamaan θ , persamaan simpangan terhadap waktu dapat dirumuskan:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \theta_0)$$

Nilai θ_0 bergantung pada keadaan awal saat $t = 0$

Grafik fungsi simpangan (y) terhadap waktu (t) dapat diamati pada gambar



Gambar 52. Grafik simpangan terhadap waktu t

Nilai kecepatan sudut pada gerak pegas seperti diatas, memenuhi persamaan:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Kecepatan getaran (v) adalah perubahan perpindahan terhadap waktu. Jadi kecepatan getaran merupakan turunan pertama dari perpindahan atau simpangan:

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{d(A \sin(\omega t + \theta_0))}{dt}$$

$$v = A \omega \cos(\omega t + \theta_0)$$

Percepatan getaran (a) adalah perubahan kecepatan terhadap waktu. percepatan getaran merupakan turunan pertama dari kecepatan atau turunan kedua dari simpangan:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(A\omega \cos(\omega t + \theta_0))}{dt}$$

$$a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \theta_0) = -\omega^2 y$$

Contoh:

Sebuah benda bermassa $m = 0,25$ kg melakukan osilasi dengan periode 0,2 sekon dan amplitudo $A = 5 \cdot 10^{-2}$ m. Pada saat simpangannya $y = 2 \cdot 10^{-2}$ m, hitunglah

(a) percepatan benda, (b) Konstanta pegas (c) gaya pemulih

Jawab:

$M = 0,25$ kg, $T = 0,2$ sekon, $A = 5 \cdot 10^{-2}$ m, $y = 2 \cdot 10^{-2}$ m

Percepatan :

$$a = -\omega^2 y = 19,72 \text{ m/s}^2$$

Konstanta pegas: $k = \omega^2 m = 246,49 \text{ N/m}$

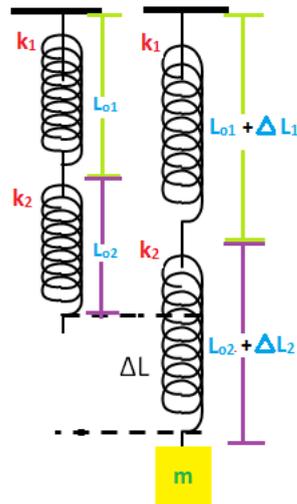
Gaya Pemulih : $F = ky = 4,93 \text{ N}$

Susunan Beberapa Pegas

Beberapa pegas, dapat disusun menjadi suatu system pegas yang memiliki elastisitas yang berbeda dari pegas aslinya. Beberapa pegas dapat disusun menjadi seri atau parallel.

Susunan Seri

Misalkan dua benda elastis dengan koefisien pegas k_1 dan k_2 disusun seri seperti pada gambar.



Gambar 53. Susunan seri

Sebelum diberi beban, panjang masing-masing pegas adalah L_{01} dan L_{02} .
Ketika ditarik dengan beban $W = mg$, maka:

- pegas atas bertambah sejauh ΔL_1
- pegas bawah bertambah sejauh ΔL_2
- pertambahan panjang total susunan pegas adalah:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

Gaya yang bekerja pada benda elastis atas dan benda bawah sama besarnya, dan sama dengan gaya yang diberikan oleh beban, maka:

$$W = k_1 \Delta L_1$$

$$\text{atau } \Delta L_1 = \frac{W}{k_1}$$

$$W = k_2 \Delta L_2$$

$$\text{atau } \Delta L_2 = \frac{W}{k_2}$$

Jika k_{seri} adalah koefisien pengganti untuk susunan dua benda elastis di atas, maka berlaku:

$$W = k_{\text{seri}} \cdot \Delta L, \text{ atau}$$

$$\Delta L = \frac{W}{k_{\text{seri}}}$$

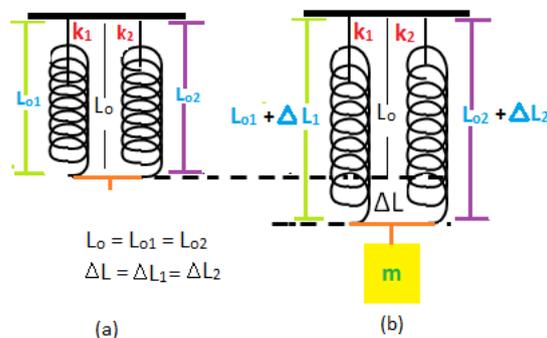
dari persamaan panjang total diketahui bahwa $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$, sehingga didapatkan:

$\frac{W}{k_{seri}} = \frac{W}{k_1} + \frac{W}{k_2}$, unsur W bisa dihilangkan karena tiap suku dibagi W , maka akan diperoleh

$$\frac{1}{k_{seri}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots$$

Susunan Paralel

Berikut ini adalah gambar dari dua buah pegas yang disusun paralel, kemudian digantungi beban bermassa m yang memberikan gaya luar sebesar mg . Akibatnya, kedua pegas bertambah panjang.



Gambar 54a. susunan paralel kondisi setimbang

Gambar 55. susunan paralel kondisi diberi gaya

Sebelum mendapat beban, panjang masing-masing benda elastis tersebut adalah L_0 . Ketika diberi beban, kedua benda elastis mengalami pertambahan panjang yang sama besar ΔL . Gaya W yang dihasilkan beban, terbagi pada dua benda elastis tersebut, masing-masing besarnya F_1 dan F_2 .

$$F_1 = k_1 \Delta \text{ dan } F_2 = k_2 \Delta L$$

Jika $k_{paralel}$ adalah koefisien efektif susunan benda, maka terpenuhi:

$$W = k_{paralel} \Delta L$$

Karena gaya ke bawah dan jumlah gaya ke atas pada beban harus sama maka:

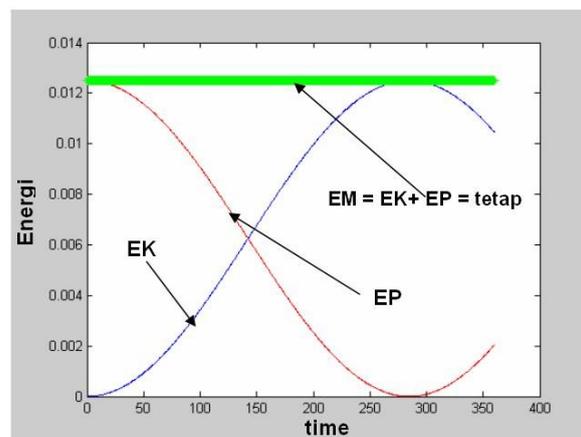
$$W = F_1 + F_2 \text{ atau } k_{paralel} \Delta L = k_1 \Delta L + k_2 \Delta L,$$

dengan menghilangkan ΔL pada kedua ruas, diperoleh:

$$k_{paralel} = k_1 + k_2 + \dots$$

Energi pada Getaran Harmonik Sederhana

Sesuai dengan hukum kekekalan energi, bahwa energi mekanik pada suatu Gerakan mekanik adalah tetap, maka hal yang sama juga berlaku pada Gerak Harmonis Sederhana. Saat energi kinetik maksimum, tentunya energi potensialnya minimum. Ini terjadi saat simpangannya sama dengan nol. Jadi energi kinetik maksimum atau kecepatan maksimum terjadi pada titik kesetimbangan. Bagaimana dengan percepatannya? Di mana posisi benda saat percepatannya maksimum? Ya tentunya pada posisi simpangan maksimum, atau $y = A$. Perubahan energi potensial dan energi kinetik pada GHS dapat diamati pada grafik yang disajikan pada gambar berikut.



Gambar 55. Grafik energi potensial dan energi kinetik terhadap waktu

Contoh:

Sebuah gerak harmonik sederhana mempunyai amplitudo $A = 6$ cm. Berapakah simpangan getarannya ketika kecepatannya $1/3$ kali kecepatan maksimum?

Jawab:

$$v = 1/3 v_{maks}$$

Persamaan energi mekanik :

$$E_M = E_p + E_k$$

$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}ky^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$k(A^2 - y^2) = m\left(\frac{1}{3}v_m\right)^2$$

$$k(A^2 - y^2) = m\frac{1}{9}(A\omega)^2$$

$$\frac{k}{m}(A^2 - y^2) = \frac{1}{9}A^2\omega^2$$

$$A^2 - y^2 = \frac{1}{9}A^2$$

$$y^2 = \frac{8}{9}A^2$$

$$y = \frac{1}{3}A\sqrt{2} = 4\sqrt{2} \text{ cm}$$

D. Rangkuman

Tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja pada permukaan benda per satuan luas dan dirumuskan:

$$\text{Tegangan tarik} = \frac{\text{Gaya (N)}}{\text{Luas (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Regangan tarik adalah pertambahan panjang (Δl) pada suatu benda yang diberi gaya tarikan pada permukaan yang berseberangan dibandingkan dengan panjang mula-mula (l_0).

$$\text{Regangan tarik} = \frac{\text{pertambahan panjang}}{\text{panjang mula - mula}}$$

$$e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Modulus elastisitas atau **modulus Young** adalah perbandingan antara tegangan dan regangan, dan nilai modulus Young konstan untuk suatu bahan.

$$\text{Modulus Young} = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}}$$

$$Y = \frac{\sigma}{e} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}$$

Hukum Hooke : Pertambahan panjang yang terjadi apabila pada benda diberikan gaya tarik, akan sebanding dengan gaya tarik tersebut.

$$\vec{F} = -k\vec{\Delta x}$$

Dengan : F = gaya Tarik (N)

k = tetapan elastisitas pegas

Δx = perubahan Panjang pegas (m)

Frekuensi getaran (f) adalah jumlah getaran yang dilakukan dalam 1 sekon

$$f = \frac{1}{T}$$

dengan : f = frekuensi (hertz)

T = periode (sekon)

Persamaan Gerak Harmonik Sederhana

$$\sum F = -ky = ma$$

Kecepatan sudut: yaitu sudut yang ditempuh setiap satuan waktu, dan dilambangkan dengan.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$

Sudut fase (θ) adalah sudut yang ditempuh oleh suatu titik selama melakukan GHS atau GMB, dan besarnya:

$$\theta = \omega t$$

Fase getaran (φ) adalah perbandingan antara lamanya titik yang bergetar (t) dengan periodenya (T), atau perbandingan antara sudut fase (θ) dan sudut fase maksimum ($2\pi f$).

$$\varphi = \frac{t}{T} = \frac{\theta}{2\pi}$$

Beda Fase ($\Delta \varphi$) adalah selisih fase antara dua posisi titik yang melakukan getaran harmonis, yang besarnya:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} = \frac{\Delta\theta}{2\pi}$$

Simpangan (y) adalah posisi suatu titik yang bergetar selaras terhadap titik kesetimbangan.

$$y(t) = A\sin(\omega t + \theta_0)$$

Kecepatan getaran (v) adalah perubahan perpindahan terhadap waktu.

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{d(A\sin(\omega t + \theta_0))}{dt}$$

$$v = A\omega \cos(\omega t + \theta_0)$$

Percepatan getaran (a) adalah perubahan kecepatan terhadap waktu.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(A\omega \cos(\omega t + \theta_0))}{dt}$$

$$a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \theta_0) = -\omega^2 y$$

Penutup

Modul belajar mandiri yang telah dikembangkan diharapkan dapat menjadi referensi bagi Anda dalam mengembangkan dan me-*refresh* pengetahuan dan keletampilan. Selanjutnya, Anda dapat menggunakan modul belajar mandiri sebagai salah satu bahan belajar mandiri untuk menghadapi seleksi Guru P3K.

Anda perlu memahami substansi materi dalam modul dengan baik. Oleh karena itu, modul perlu dipelajari dan dikaji lebih lanjut bersama rekan sejawat baik dalam komunitas pembelajaran secara daring maupun komunitas praktisi (MGMP) masing-masing. Kajian semua substansi materi yang disajikan perlu dilakukan, sehingga Anda mendapatkan gambaran teknis mengenai rincian materi substansi. Selain itu, Anda juga diharapkan dapat mengantisipasi kesulitan-kesulitan dalam materi substansi yang mungkin akan dihadapi saat proses seleksi Guru P3K.

Pembelajaran-pembelajaran yang disajikan dalam setiap modul merupakan gambaran substansi materi yang digunakan mencapai masing-masing kompetensi Guru sesuai dengan indikator yang dikembangkan oleh tim penulis/kurator. Selanjutnya Anda perlu mencari bahan belajar lainnya untuk memperkaya pengetahuan dan keterampilan sesuai dengan bidang studinya masing-masing, sehingga memberikan tingkat pengetahuan dan keterampilan yang komprehensif. Selain itu, Anda masih perlu mengembangkan pengetahuan dan keterampilan Anda dengan cara mencoba menjawab latihan-latihan soal tes yang disajikan dalam setiap pembelajaran pada portal komunitas pembelajaran.

Dalam melaksanakan kegiatan belajar mandiri Anda dapat menyesuaikan waktu dan tempat sesuai dengan lingkungan masing-masing (sesuai kondisi demografi). Harapan dari penulis/kurator, Anda dapat mempelajari substansi materi bidang studi pada setiap pembelajaran yang disajikan dalam modul untuk mengembangkan pengetahuan dan keterampilan sehingga siap melaksanakan seleksi Guru P3K.

Selama mengimplementasikan modul ini perlu terus dilakukan refleksi, evaluasi, keberhasilan serta permasalahan. Permasalahan-permasalahan yang ditemukan

dapat langsung didiskusikan dengan rekan sejawat dalam komunitas pembelajarannya masing-masing agar segera menemukan solusinya.

Capaian yang diharapkan dari penggunaan modul ini adalah terselenggaranya pembelajaran bidang studi yang optimal sehingga berdampak langsung terhadap hasil capaian seleksi Guru P3K.

Kami menyadari bahwa modul yang dikembangkan masih jauh dari kesempurnaan. Saran, masukan, dan usulan penyempurnaan dapat disampaikan kepada tim penulis/kurator melalui surat elektronik (e-mail) sangat kami harapkan dalam upaya perbaikan dan pengembangan modul-modul lainnya.

Daftar Pustaka

Abdullah Mikrajuddin, 2007, **Fisika Dasar 1**, Catatan Kuliah FI-1101, ITB, Bandung

Giancoli 2001, Terjemahan: Yuhilza Hanum, **Fisika Jilid 1**, edisi kelima, Erlangga, Jakarta

Halliday, Resnick, Terjemahan: Silaban, Pantur, Sucipto, Erwin, 1985, **Fisika, Jilid 1**, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta

Kanginan Marthen, 1993, **Fisika untuk SMA kelas X**, Jilid 1A I, Erlangga, Jakarta.

Kardiawarman, dkk. 1993, **Fisika Dasar 1**, Buku I, Modul 1-6, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.

Kertiasa, Nyoman, 1993, **Fisika 1 Untuk Sekolah Menengah Umum**, Dikdasmen Depdikbud, Jakarta.

Muslih Dadan, 2011, **Modul Mekanika SMA**, PPPPTK IPA, Bandung

Nalda F Nora, dkk, 2007, **Practical Work In High School Physics**, National Institute For Science And Mathematics Education Development, University of the Philippines, Diliman, Quezon city

Sutrisno. 2003. **Ilmu Fisika 1**, Jilid 1, Acarya, Bandung

Tipler, Paul A, Terjemahan: Prasetyo Lea, dkk 1998, **Fisika untuk Sains dan teknik Jilid 1**, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta,

Utari Setiya, dkk, (2000), **Petunjuk Praktikum Fisika Dasar I**, edisi ke-1, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UPI, Bandung.

Waluyanti Sri, dkk (2008). **Alat Ukur dan Teknik Pengukuran Jilid 1 Untuk SMK**, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

Winduono Yamin, dkk (2016). Pengukuran, Kinematika, dan dinamika, Modul Guru Pembelajar KK A, Mata Pelajaran Fisika SMA, PPPTK IPA, Dirjen GTK, Bandung

Modul Belajar Mandiri

CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)
Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)