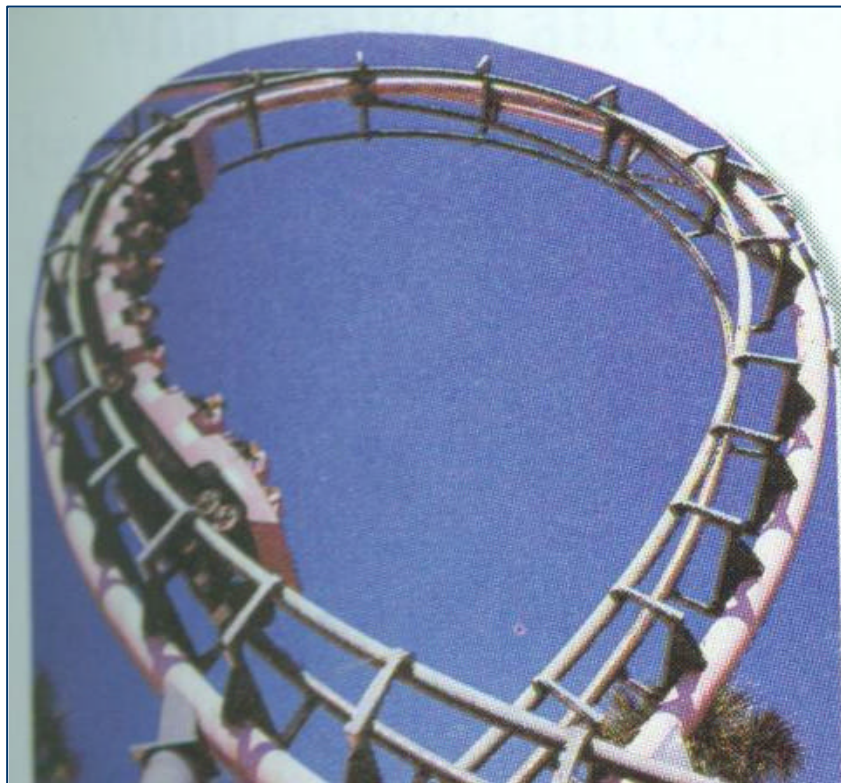


Kode FIS.06

Gerak Melingkar



BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

2004

Kode FIS.02

Gerak Melingkar

Penyusun
Drs. Supriyono, MSc.

Editor:
Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.
Drs. Munasir, M.Si.

**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENEGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

2004

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya, kami dapat menyusun bahan ajar modul manual untuk SMK Bidang Adaptif, yakni mata-pelajaran Fisika, Kimia dan Matematika. Modul yang disusun ini menggunakan pendekatan pembelajaran berdasarkan kompetensi, sebagai konsekuensi logis dari Kurikulum SMK Edisi 2004 yang menggunakan pendekatan kompetensi (*CBT: Competency Based Training*).

Sumber dan bahan ajar pokok Kurikulum SMK Edisi 2004 adalah modul, baik modul manual maupun interaktif dengan mengacu pada Standar Kompetensi Nasional (SKN) atau standarisasi pada dunia kerja dan industri. Dengan modul ini, diharapkan digunakan sebagai sumber belajar pokok oleh peserta diklat untuk mencapai kompetensi kerja standar yang diharapkan dunia kerja dan industri.

Modul ini disusun melalui beberapa tahapan proses, yakni mulai dari penyiapan materi modul, penyusunan naskah secara tertulis, kemudian disetting dengan bantuan alat-alat komputer, serta divalidasi dan diujicobakan empirik secara terbatas. Validasi dilakukan dengan teknik telaah ahli (*expert-judgment*), sementara ujicoba empirik dilakukan pada beberapa peserta diklat SMK. Harapannya, modul yang telah disusun ini merupakan bahan dan sumber belajar yang berbobot untuk membekali peserta diklat kompetensi kerja yang diharapkan. Namun demikian, karena dinamika perubahan sains dan teknologi di industri begitu cepat terjadi, maka modul ini masih akan selalu dimintakan masukan untuk bahan perbaikan atau direvisi agar supaya selalu relevan dengan kondisi lapangan.

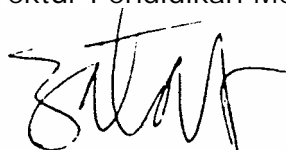
Pekerjaan berat ini dapat terselesaikan, tentu dengan banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang perlu diberikan penghargaan dan ucapan terima kasih. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini tidak berlebihan bilamana disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang

sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pakar di bidang psikologi, praktisi dunia usaha dan industri, dan pakar akademik sebagai bahan untuk melakukan peningkatan kualitas modul. Diharapkan para pemakai berpegang pada azas keterlaksanaan, kesesuaian dan fleksibilitas, dengan mengacu pada perkembangan IPTEK pada dunia usaha dan industri dan potensi SMK dan dukungan dunia usaha industri dalam rangka membekali kompetensi yang terstandar pada peserta diklat.

Demikian, semoga modul ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya peserta diklat SMK Bidang Adaptif untuk mata-pelajaran Matematika, Fisika, Kimia, atau praktisi yang sedang mengembangkan modul pembelajaran untuk SMK.

Jakarta, Desember 2004
a.n. Direktur Jenderal Pendidikan
Dasar dan Menengah
Direktur Pendidikan Menengah Kejuruan,



Dr. Ir. Gatot Hari Priowirjanto, M.Sc.
NIP 130 675 814

DAFTAR ISI

✍	Halaman Sampul	i
✍	Halaman Francis	ii
✍	Kata Pengantar	iii
✍	Daftar Isi	v
✍	Peta Kedudukan Modul	vii
✍	Daftar Judul Modul	viii
✍	Glosary	ix

I. PENDAHULUAN

a.	Deskripsi	1
b.	Prasarat	1
c.	Petunjuk Penggunaan Modul	2
d.	Tujuan Akhir	3
e.	Kompetensi	4
f.	Cek Kemampuan	5

II. PEMELAJARAN

A.	Rencana Belajar Peserta Diklat	7
-----------	---	----------

B. Kegiatan Belajar

1.	<i>Kegiatan Belajar</i>	8
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran	8
b.	Uraian Materi	8
c.	Rangkuman	34
d.	Tugas	36
e.	Tes Formatif	37
f.	Kunci Jawaban	39
g.	Lembar Kerja	40

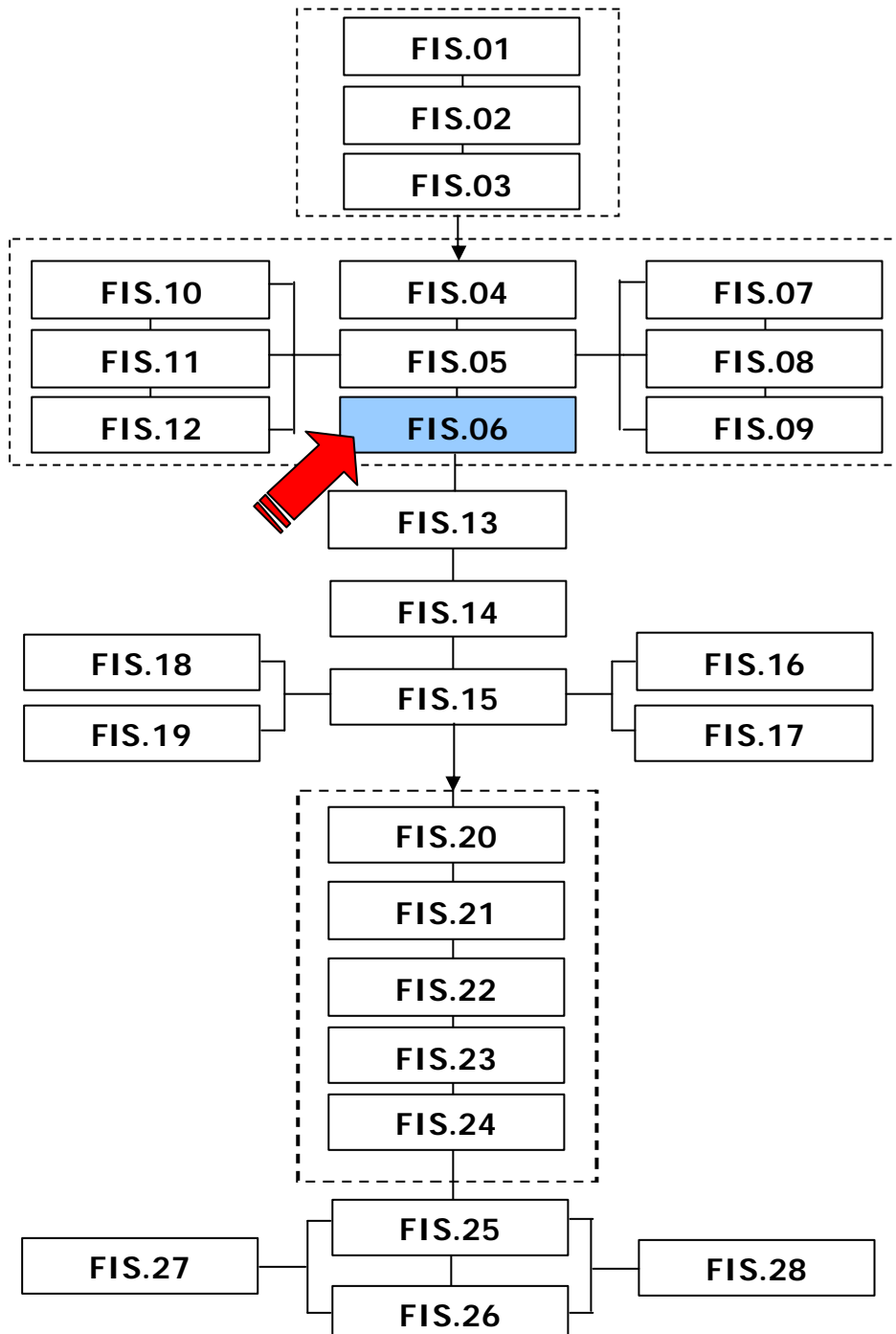
III. EVALUASI

A.	Tes Tertulis	40
B.	Tes Praktik	41

KUNCI JAWABAN

A. Tes Tertulis	44
B. Lembar Penilaian Tes Praktik.....	45
IV. PENUTUP	48
DAFTAR PUSTAKA	49

Peta Kedudukan Modul



DAFTAR JUDUL MODUL

No.	Kode Modul	Judul Modul
1	FIS.01	Sistem Satuan dan Pengukuran
2	FIS.02	Pembacaan Masalah Mekanik
3	FIS.03	Pembacaan Besaran Listrik
4	FIS.04	Pengukuran Gaya dan Tekanan
5	FIS.05	Gerak Lurus
6	FIS.06	Gerak Melingkar
7	FIS.07	Hukum Newton
8	FIS.08	Momentum dan Tumbukan
9	FIS.09	Usaha, Energi, dan Daya
10	FIS.10	Energi Kinetik dan Energi Potensial
11	FIS.11	Sifat Mekanik Zat
12	FIS.12	Rotasi dan Kesetimbangan Benda Tegar
13	FIS.13	Fluida Statis
14	FIS.14	Fluida Dinamis
15	FIS.15	Getaran dan Gelombang
16	FIS.16	Suhu dan Kalor
17	FIS.17	Termodinamika
18	FIS.18	Lensa dan Cermin
19	FIS.19	Optik dan Aplikasinya
20	FIS.20	Listrik Statis
21	FIS.21	Listrik Dinamis
22	FIS.22	Arus Bolak-Balik
23	FIS.23	Transformator
24	FIS.24	Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik
25	FIS.25	Semikonduktor
26	FIS.26	Piranti semikonduktor (Dioda dan Transistor)
27	FIS.27	Radioaktif dan Sinar Katoda
28	FIS.28	Pengertian dan Cara Kerja Bahan

Glossary

ISTILAH	KETERANGAN
Gerak melingkar beraturan	Gerak yang lintasannya melingkar dengan kelajuan konstan.
Kecepatan linier	Kecepatan gerak melingkar yang arahnya selalu tegak lurus jari-jari lingkaran.
Kecepatan sudut	Perpindahan sudut persatuan waktu
Percepatan sentripetal	Perubahan kecepatan persatuan waktu pada gerak melingkar yang arahnya selalu ke pusat lingkaran.
Gaya sentripetal	Gaya yang mengakibatkan percepatan sentripetal
Percepatan sentrifugal	Percepatan yang dihasilkan adanya gaya sentrifugal.
Gaya sentrifugal	Gaya inersial yang besarnya sama dan arahnya berlawanan dengan gaya sentripetal. Berdasarkan hukum III Newton gaya setrifugal dan gaya sentripetal merupakan pasangan gaya aksi dan reaksi.

BAB I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Dalam modul ini anda akan mempelajari tentang gerak melingkar beraturan. Materi gerak melingkar lebih menekankan pada konsep gerak melingkar beraturan, yaitu gerak lintasan melingkar tetapi kelajuannya konstan. Pada gerak melingkar beraturan terkait dengan berbagai konsep, antara lain konsep kecepatan linier, kecepatan sudut, percepatan linier, percepatan sudut, khususnya percepatan sentripetal, dan percepatan sentrifugal. Konsep-konsep yang terkait dengan percepatan sentripetal adalah gaya sentripetal, sedangkan gaya yang terkait dengan percepatan sentrifugal adalah gaya sentrifugal. Perbedaan besaran-besaran sentripetal dengan sentrifugal terletak pada arahnya, yaitu sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran sedangkan sentrifugal arahnya selalu menjauhi pusat lingkaran. Gerak melingkar beraturan dapat terjadi pada benda yang berotasi dan berevolusi. Rotasi adalah gerakan perputaran benda pada porosnya, revolusi adalah gerakan perputaran benda mengelilingi benda lain.

B. Prasarat

Untuk dapat mempelajari modul gerak melingkar beraturan, anda harus menguasai lebih dahulu berbagai konsep terkait dengan gerak lurus, baik gerak lurus beraturan maupun gerak lurus berubah beraturan. Khususnya konsep tentang kecepatan, percepatan dan gaya yang berlaku pada gerak lurus berubah beraturan. Pada akhirnya anda harus dapat menerapkan konsep-konsep yang terkait dengan gerak melingkar baik dalam perhitungan maupun contoh-contoh dalam kehidupan sehari-hari.

C. Petunjuk Penggunaan Modul

- ? Pelajari daftar isi serta skema kedudukan modul dengan cermat dan teliti, karena dalam skema modul akan tampak kedudukan modul yang sedang anda pelajari ini di antara modul-modul yang lain.
- ? Kerjakan pertanyaan dan soal dalam cek kemampuan sebelum mempelajari modul ini. Jika anda mengalami kesulitan, pelajari materi dan contoh soal.
- ? Pahami setiap materi teori dasar yang akan menunjang penguasaan suatu pekerjaan dengan membaca secara teliti. Kerjakan evaluasi dan tugas di akhir materi sebagai sarana latihan, apabila anda mendapatkan kesulitan anda dapat berkonsultasikan pada guru.
- ? Setelah anda mempelajari modul ini, selanjutnya kerjakan tes formatif dan evaluasi dengan baik, benar dan jujur sesuai dengan kemampuan anda.
- ? Catatlah kesulitan yang anda temui dalam modul ini untuk ditanyakan kepada guru pada saat kegiatan tatap muka.
- ? Bacalah referensi lain yang berhubungan dengan materi modul agar anda mendapatkan pengetahuan tambahan.

D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan anda dapat:

- ? Menjelaskan perbedaan antara kecepatan linier dengan kecepatan sudut, dan percepatan linier, percepatan sudut, dengan percepatan sentripetal.
- ? Menjelaskan perbedaan antara gaya sentripetal dan gaya sentrifugal; percepatan sentripetal dan percepatan sentrifugal.
- ? Melalui diagram dapat menurunkan rumus percepatan sentripetal.
- ? Berdasarkan hukum II Newton dapat menurunkan rumus gaya sentripetal.
- ? Menghitung berbagai besaran yang terkait dengan konsep gerak melingkar beraturan.
- ? Memberikan berbagai contoh benda yang bergerak melingkar beraturan dalam kehidupan sehari-hari.
- ? Menjelaskan perbedakan antara benda berotasi dengan yang berevolusi.

E. Kompetensi

Kompetensi : MENGHITUNG GERAK MELINGKAR
 Program Keahlian : Program Adaptif
 Mata Diklat-Kode : FISIKA-FIS.06
 Durasi Pembelajaran: 15 jam @ 45 menit

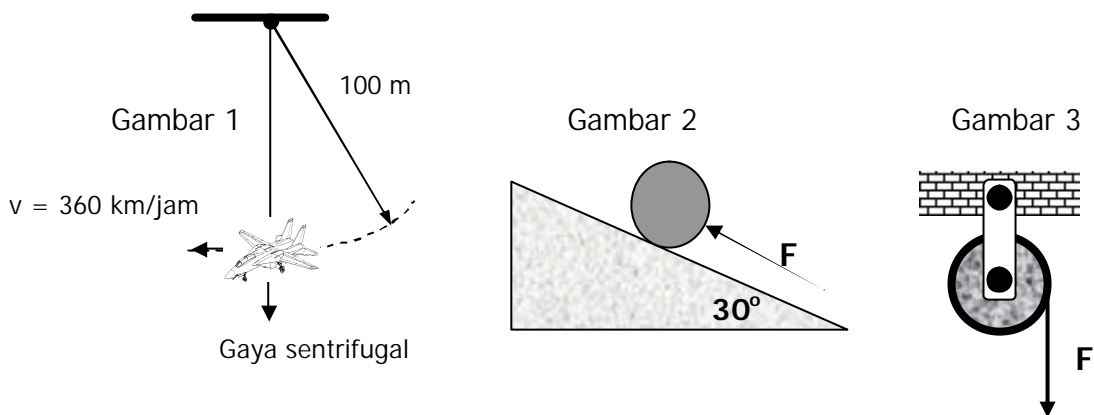
SUB KOMPETENSI	KRITERIA KINERJA	LINGKUP BELAJAR	MATERI POKOK PEMBELAJARAN		
			SIKAP	PENGETAHUAN	KETERAMPILAN
1. Menghitung gerak melingkar	? Gerak melingkar ditetapkan sesuai dengan konsep gerak melingkar beraturan. ? Konsep benda menggelinding dan benda berotasi.	? Kecepatan linier dan anguler. ? Percepatan sentripetal dan gaya sentripetal. ? Percepatan sentrifugal dan gaya sentrifugal. ? Syarat benda menggelinding. ? Momentum anguler dan momen gaya.	? Teliti dalam menghitung gerak melingkar beraturan.	? Pengertian gerak melingkar beraturan. ? Perhitungan gerak melingkar beraturan dengan beberapa aplikasi dalam peristiwa sehari-hari.	? Menghitung gerak melingkar beraturan dan beberapa konsep fisika lain yang terkait.

F. Cek Kemampuan

Kerjakanlah soal-soal berikut ini, jika anda dapat mengerjakan sebagian atau semua soal berikut ini, maka anda dapat meminta langsung kepada instruktur atau guru untuk mengerjakan soal-soal evaluasi untuk materi yang telah anda kuasai pada BAB III.

1. Sebutkan 2 ciri suatu benda yang sedang bergerak melingkar beraturan.
2. Apa yang dimaksud dengan percepatan sentripetal.
3. Apa perbedaan antara kecepatan linier dan kecepatan sudut.
4. Apa perbedaan antara gerak rotasi dan revolusi
5. Apakah setiap benda yang bergerak melingkar beraturan, bekerja gaya sentrifugal? Jelaskan!
6. Bila sebuah benda yang sedang bergerak melingkar beraturan kecepatan liniernya diperlambat setengah dari kecepatan semula, besaran apa yang mengalami perubahan, dan berapa besarnya.
7. Sebuah benda bermassa 0,1 kg bergerak melingkar beraturan dengan kelajuan 10 m/det, jika jari-jari lintasannya 2 m. Besarnya gaya sentripetal yang dialami benda tersebut adalah?
8. Seorang peserta diklat memutar sebuah batu yang diikatkan pada ujung seutas tali. Batu diputar secara horisontal. Jika laju berputarnya batu dijadikan dua kali semula, maka gaya sentripetal yang dialami batu menjadi?
9. Planet P dan Q masing-masing berjarak rata-rata sebesar x dan y terhadap matahari. Planet P mengitari matahari dengan periode T . Jika $x = 4y$, maka Q mengitari matahari dengan periode?
10. Sebuah benda bermassa 5 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 1,5 m. Jika kecepatan sudut tetap 2 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$, maka tegangan tali pada saat benda pada titik terendah adalah?

11. Sebuah benda bermassa 2 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 0,5 m. Jika kecepatan sudut tetap 6 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$, maka tegangan tali pada saat benda pada titik tertinggi adalah?
12. Bila berat seorang pilot pesawat 65 kg, maka ketika pesawat terbang bergerak dengan lintasan seperti pada gambar 1, maka pilot tersebut merasakan gaya sebesar:



13. Sebuah partikel bermassa 0,2 gram bergerak melingkar dengan kecepatan sudut linier 10 rad/s. Jika jari-jari lintasan partikel 3 cm, maka momentum sudut partikel tersebut adalah?
14. Benda yang massanya 20 kg terletak pada bidang miring yang licin dengan sudut 30° , ditahan oleh suatu gaya menuju pusat massa benda sehingga diam di tempat. Jika percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, tentukan besar gaya penahan tersebut (gambar 2).
15. Dalam keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut 15 rad/s^2 . Titik P berada pada benda tersebut, berjarak 10 cm dari sumbu putar benda. Tepat setelah benda berotasi selama 0,4 sekon, maka tentukan percepatan total yang dialami titik P.
16. Perhatikan gambar sebuah roda pejal homogen. Pada tepi roda dililitkan tali dan kemudian ujung tali ditarik dengan gaya $F=6 \text{ N}$. Jika massa roda 5 kg dari jari-jarinya 20 cm, tentukan percepatan sudut roda tersebut (lihat gambar 3).

BAB II. PEMBELAJARAN

A. Rencana Belajar Peserta Diklat

Kompetensi : Gerak Melingkar

Sub Kompetensi : 1. Memahami konsep gerak melingkar.
2. Konsep gaya sentripetal.
3. Konsep benda menggelinding.
4. Konsep benda berotasi.

Tuliskan semua jenis kegiatan yang anda lakukan di dalam tabel kegiatan di bawah ini. Jika ada perubahan dari rencana semula, berilah alasannya kemudian mintalah tanda tangan kepada guru atau instruktur anda.

Jenis Kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat Belajar	Alasan Perubahan	Tanda Tangan Guru

B. Kegiatan Belajar

1. Kegiatan Belajar 1

a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan belajar 1, diharapkan anda dapat:

- ? Menjelaskan percepatan benda yang bergerak melingkar.
- ? Mendeskripsikan bagaimana percepatan sentripetal bergantung pada kelajuan benda dan jari-jari lingkaran.
- ? Mengenalkan arah gaya yang mengakibatkan percepatan sentripetal.

b. Uraian Materi

Dapatkah suatu benda bergerak dipercepat bila kelajuannya konstan? Ya, karena kecepatan merupakan besaran vektor, seperti halnya perubahan kelajuan, berarti bahwa ada perubahan kecepatan, demikian juga perubahan arah berarti ada perubahan kecepatan. Anggaplah sebuah benda bergerak dengan kelajuan tetap.



Gambar 1-1.
"merry go around"

Gambar 1-1 menunjukkan seorang yang sedang mengendarai "merry go around" yang sedang bergerak dengan kelajuan tetap. Orang tersebut bergerak melingkar beraturan. Demikian juga pakaian yang sedang berputar dalam mesin cuci.



Gambar 1-2. Komedi putar

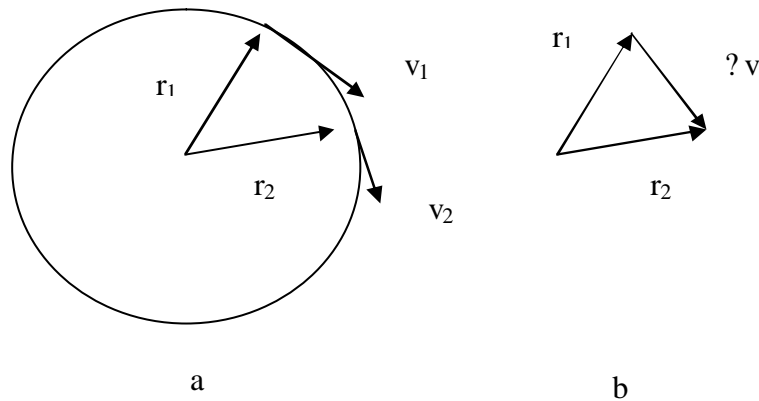
Gerak melingkar beraturan adalah gerakan suatu benda atau titik massa dengan kelajuan konstan mengelilingi suatu lingkaran yang memiliki jari-jari sama.

Seperti pada **Gambar 1-2**, seorang anak menaiki kuda pada komedi putar dalam gerak melingkar beraturan.

1) Melukiskan Gerak Melingkar

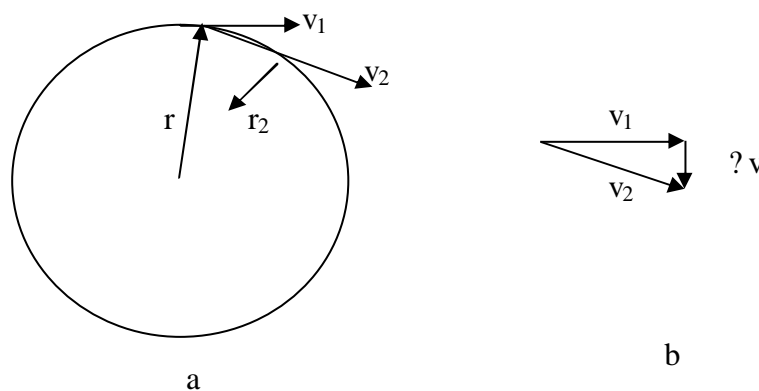
Kedudukan sebuah benda terhadap pusat lingkaran di beri simbol dengan kedudukan vektor r , seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1-3a**. Sebuah benda yang bergerak mengelilingi lingkaran panjang kedudukan vektor tidak berubah, tetapi arahnya yang berubah. Untuk menemukan kecepatan benda, Anda perlu menemukan dulu perpindahan vektor selang waktu tertentu. Perubahan kedudukan atau perpindahan dinyatakan dengan Δr . **Gambar 1-3b** menunjukkan kedudukan awal vektor r_1 dan kedudukan akhir vektor r_2 setelah selang waktu tertentu. Dalam diagram vektor r_1 dikurangkan vektor r_2 untuk menghasilkan resultan vektor Δr , yaitu perpindahan selang waktu tertentu. Ingat kembali bahwa kecepatan rata-rata benda adalah $\Delta d / \Delta t$, maka untuk benda yang bergerak melingkar $v = \Delta d / \Delta t$. Vektor kecepatan mempunyai arah yang sama dengan perpindahan tetapi memiliki panjang yang berbeda. Anda dapat melihat **Gambar 1-3a**, bahwa kecepatan tegak lurus pada vektor kedudukan dan tangen untuk

lintasan melingkar. Karena vektor kecepatan bergerak mengelilingi lingkaran maka arahnya berubah tetapi panjangnya tetap sama.



Gambar 1-3. Perpindahan benda dalam gerak melingkar

Berapa besarnya percepatan suatu benda yang bergerak melingkar? **Gambar1-4a** menunjukkan vektor kecepatan awal v_1 pada dan v_2 vektor kecepatan akhir untuk selang waktu tertentu. Perbedaan dua vektor Δv diperoleh dengan mengurangkan vektor-vektor seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1-4b**. Percepatan $a = \Delta v / \Delta t$ dalam arah yang sama dengan Δv yang menuju ke pusat lingkaran. Karena benda bergerak mengelilingi lingkaran, maka percepatan vektornya berubah tetapi besarnya tetap sama. Percepatan sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan selalu menuju ke pusat lingkaran dan disebut **percepatan sentripetal**.



Gambar 1-4. Perpindahan benda dalam gerak melingkar

2) Percepatan Sentripetal

Berapa besar percepatan sentripetal? Bandingkan segitiga yang terbuat dari vektor kedudukan pada **Gambar 1-3b** dengan segitiga yang terbuat dari vektor kecepatan pada **Gambar 3b**. Sudut antara r_1 dan r_2 sama dengan sudut antara v_1 dan v_2 . Karena itu dua segitiga yang dibentuk oleh pengurangan kedua vector adalah identik dan perbandingan besar kedua besaran tersebut adalah sama. Demikianlah $\Delta r/r = \Delta v/v$. Persamaan tersebut tidak berubah jika keduanya dibagi dengan Δt .

$$\frac{\Delta r}{r \Delta t} = \frac{\Delta v}{v \Delta t} \quad (1)$$

Tetapi $v = \Delta r/\Delta t$ dan $a = \Delta v/\Delta t$. Menstitusi persamaan tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\frac{v}{r} = \frac{a}{v} \quad (2)$$

Menyelesaikan persamaan ini untuk percepatan dan memberi simbol a_s untuk percepatan sentripetal.

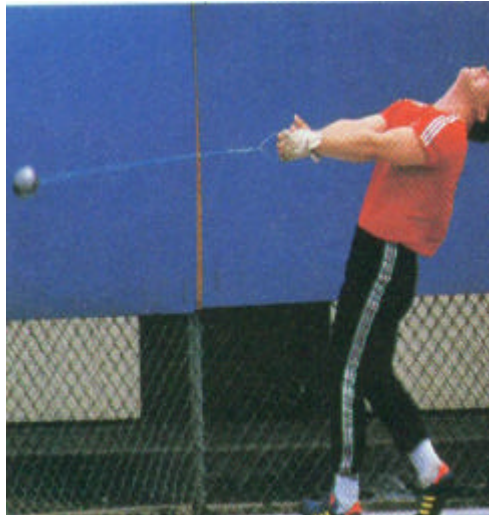
$$a_s = \frac{v^2}{r} \quad (3)$$

Percepatan sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran.

Bagaimana anda dapat mengukur kelajuan dari benda yang sedang bergerak melingkar? Salah satu cara adalah mengukur periodenya T , waktu yang diperlukan benda untuk berputar satu kali putaran. Jarak yang ditempuh dalam satu kali putaran sama dengan keliling lingkaran yaitu $2\pi r$. Selanjutnya kelajuan dinyatakan dengan $v = 2\pi r/T$.

Jika persamaan ini disubstitusi untuk v dalam persamaan percepatan sentripetal diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$a_s = \frac{(2\pi r/T)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \quad (4)$$



Gambar 1-5 Olah raga lempar martil

Apa yang menyebabkan benda memiliki percepatan sentripetal? Pada benda tersebut harus bekerja gaya searah dengan percepatan yang arahnya menuju ke pusat lingkaran. Bumi mengelilingi matahari, gaya tersebut adalah gaya gravitasi bumi. Pada saat olahraga lempar martil mengayun martilnya seperti pada **Gambar 1-5**,

gaya tersebut adalah tegangan rantai pada bola. Pada saat mobil bergerak pada tikungan jalan, gaya menuju ke dalam adalah gaya gesekan jalan pada ban mobil. Gaya percepatan sentripetal disebut **gaya sentripetal**.

Untuk memahami gaya sentripetal anda harus mengidentifikasi komponen-komponen yang berkaitan dengan gaya yang menyebabkan percepatan. Anda dapat menuliskan hukum II Newton dengan cara sebagai berikut:

$$F = ma_s \quad (5a)$$

$$F = \frac{mv^2}{r} \quad (5b)$$

$$F = m\left(\frac{4\pi^2 r}{T^2}\right) \quad (5c)$$

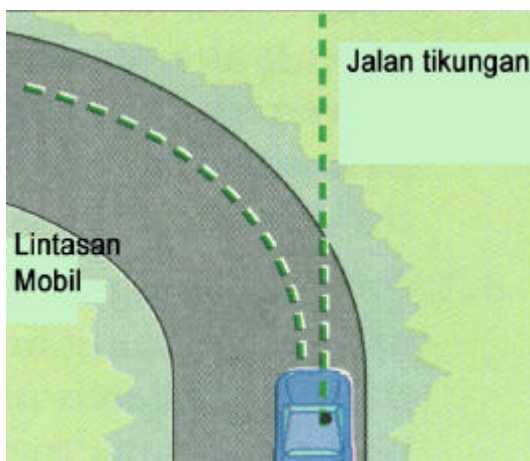
Pada saat menyelesaikan masalah gerak melingkar beraturan pilihlah sistem koordinat dengan cara biasa, dengan satu sumbu dalam arah percepatan. Tetapi ingat bahwa untuk gerak melingkar, percepatan sentripetal arahnya selalu menuju ke pusat lingkaran. Pada sumbu x atau y berilah tanda s untuk sentripetal. Sumbu yang lain sebagaimana

biasanya harus tegak lurus dengan sumbu yang pertama, dalam arah kecepatan, tangen untuk lingkaran. Ini di beri simbol yang untuk tangensial.

Dalam olahraga lempar martil, tujuan gerak melingkar adalah untuk memberikan martil kelajuan yang besar. Kemana arah bola pada saat olahragawan melepaskan rantainya? Sekali lagi gaya kontak rantai telah tiada, disini tidak ada gaya yang menyebabkan percepatan bola menuju ke pusat lingkaran, maka martil terbang searah dengan kecepatannya yaitu tangen pada lingkaran. Setelah terlepas hanya gaya gravitasi yang bekerja pada bola tersebut, dan gerakannya seperti gerak parabola.

3) Bukan gaya

Jika sebuah mobil yang kamu tumpangi berhenti mendadak, kamu akan terdorong ke depan. Adakah di sini gaya yang mendorongmu? Tidak, karena menurut hukum I Newton anda akan bergerak terus dengan kecepatan tetap kecuali ada resultan gaya yang bekerja pada anda. Sabuk pengaman melakukan gaya untuk mempercepat kamu berhenti.



Gambar 1-6 Mobil bergerak di tikungan jalan raya.

Sama halnya jika sebuah mobil membelok ke kiri pada tikungan yang tajam, seorang penumpang di sebelah kanan akan terdorong ke pintu mobil ke kanan.

Adakah di sana gaya yang mendorong pada penumpang?

Gambar 1-6 menunjukkan sebuah mobil membelok ke kiri dilihat dari atas.

Seorang penumpang akan terus bergerak lurus ke depan jika tidak ada gaya dari pintu mobil bekerja ke arah percepatan, yaitu ke pusat lingkaran. Demikianlah, tidak ada gaya keluar pada penumpang tersebut. Itu disebut gaya sentrifugal atau gaya keluar adalah fiksi atau bukan gaya. Hukum Newton yang digunakan tanpa pecepatan dalam kerangka acuan dapat menjelaskan gerak lurus dan melingkar.

4) Perubahan Gerak Melingkar: Torsi

Dalam hubungan pada gerak melingkar beraturan, kamu telah menganggap benda-benda seperti seorang pada sebuah *merry-go around* dan kaos yang sedang berputar dalam mesin cuci. Di sini dapat dianggap titik massa. Sekarang anggap benda besar yang sedang berotasi. Suatu benda besar yang sedang berotasi pada sumbunya. Sebagai contoh, sebuah *merry-go around* adalah benda yang sedang berotasi pada sumbunya. Perputaran bak mesin cuci, dan perputaran pintu merupakan benda berotasi. Sebuah pintu biasanya juga suatu benda yang bergerak rotasi sekalipun biasanya berotasi hanya melalui lingkaran.

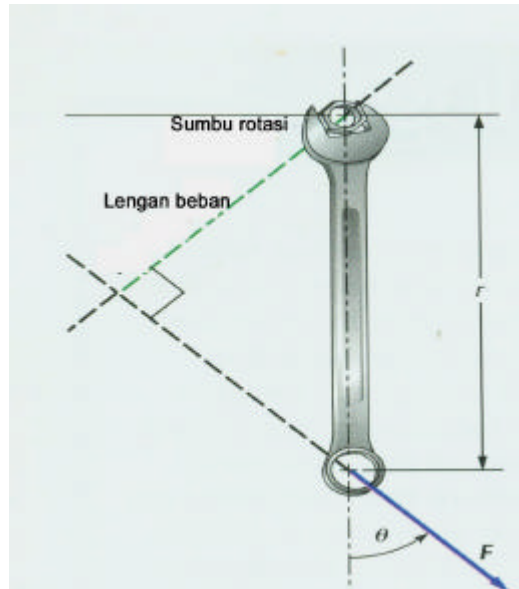
Bagaimana kamu membuat pintu berotasi di sekeliling sumbu rotasinya? Anda melakukan gaya. Tetapi di mana? Mendorong pada engsel, kecil pengaruhnya. Tetapi menarik pada bagian pintu yang jauh dari engselnya, pintu akan mudah berotasi.

Bagaimana arah dorongan yang kamu lakukan? Tegak lurus pada pintu akan lebih efektif, dorongan menuju engsel tidak efektif.

Membuka pintu paling mudah bila anda mendorong jauh dari engsel dan tegak lurus terhadap pintu. Informasi tentang jarak dan arah tergabung dalam satu konsep yang disebut lengan tuas.

Lengan tuas dalam **Gambar 1-7** didefinisikan sebagai jarak tegak lurus dari sumbu rotasi ke sepanjang garis kerja gaya. Hasil kali gaya dan lengan tuas disebut torsi. Lebih besar torsi lebih besar perubahan gerakan rotasi. Demikianlah, torsi memainkan peranan gaya untuk

gerakkan rotasi. Torsi dapat berhenti, mulai atau mengubah arah rotasi. Untuk menghentikan pintu dari keadaan membuka atau menutup.



Gambar 1-7 Gambar kunci inggris

Anda melakukan gaya dalam arah berlawanan. Untuk memulai kacang/sekrup bergerak pada saat kamu sedang memindahkan sebuah ban kamu menggunakan kunci inggris untuk menerapkan torsi. Kadang-kadang pasak panjang ditambahkan pada kunci inggris untuk menambah torsi.

Sebuah jungkat-jungkit merupakan contoh lain dari torsi. Jika jungkat-jungkit setimbang, maka tidak ada resultan gaya. Bagaimana caranya jika dua orang, satu kecil yang lain besar untuk dapat setimbang? Masing-masing harus melakukan suatu torsi yang sama besarnya tetapi berlawanan arah. Karena torsi adalah hasil kali lengan beban d dengan berat anak w . anak yang lebih kecil harus duduk jauh dari sumbu rotasi atau poros jungkat-jungkit. Jungkat jungkit akan setimbang bila $m_A g d_A = m_B g d_B$. Konsep ini adalah dasar untuk merancang timbangan yang digunakan dalam pelajaran sains.

5) Perbedaan antara gerak rotasi dan translasi

Untuk benda yang berotasi memiliki dua hal yang ditemukan

- ? Setiap partikel benda itu bergerak dengan lintasan melingkar.
- ? Lingkarannya harus berpusat pada garis lurus. Garis ini disebut sumbu lingkaran.

Hal yang berbeda, gerakan suatu benda yang bukan pada garis lurus yang arahnya berubah, saat benda bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain disebut translasi. Translasi dapat berupa garis lurus maupun lengkung, bergantung pada lintasan benda. Jarak garis lurus antara titik awal dan titik akhir translasi disebut perpindahan.

Benda sering memiliki perpaduan gerak rotasi dan translasi yang rumit. Sebagai contoh bagian mesin yang berotasi pada saat mobil sedang bergerak sepanjang jalan raya.

6) Gerak rotasi dan revolusi

Gerak melingkar dibedakan menjadi dua yaitu gerak rotasi dan gerak revolusi. Hampir kebanyakan mesin yang rumit mempunyai satu atau lebih bagian yang bergerak rotasi, yang seluruh partikel benda bergerak dalam lintasan melingkar pada poros yang tetap. Misalnya, gerakan gir roda sepeda, engkol mesin mobil, mesin bagian dalam bak mesin cuci. Gerak melingkar yang sumbu putar di luar benda itu disebut gerak revolusi. Sebagai contoh bumi bergerak mengelilingi matahari. Pembalap sepeda bergerak mengelilingi lapangan yang berbentuk lingkaran.

7) Pengukuran sudut

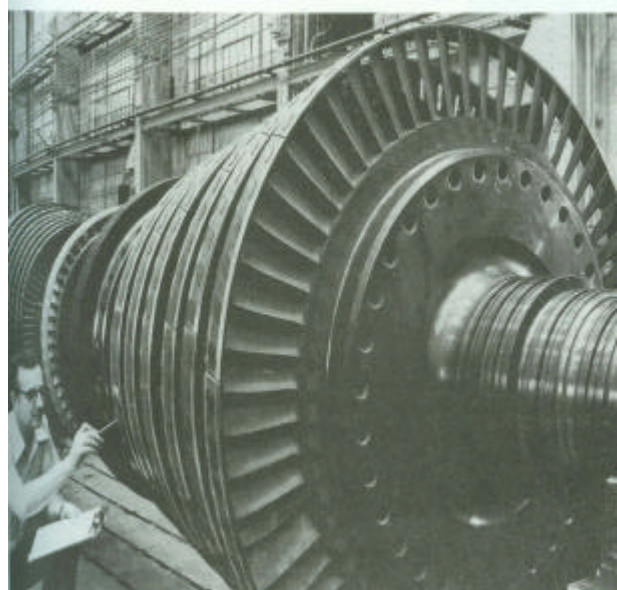
Karena gerak rotasi adalah gerak dalam lintasan melingkar, kamu harus mengingat kembali geometri lingkaran. Jarak mengelilingi sebuah lingkaran disebut keliling dan jarak dari pusat ke lingkaran adalah jari-jari. Perpindahan sudut yang ditempuh jari-jari berporos pada pusat lingkaran diukur dengan derajat ($^{\circ}$), dan jarak sudut mengelilingi titik pusat sebesar 360° . Bagian keliling lingkaran disebut arc.

Pengukuran perpindahan sudut yang lain adalah revolusi. Satu kali revolusi adalah satu kali putaran lengkap mengelilingi pusat atau sumbu rotasi. Satu kali revolusi sama dengan jarak sudut 360° . Dalam sains dan teknologi masih ada satuan pengukuran sudut yang lain. Satuan

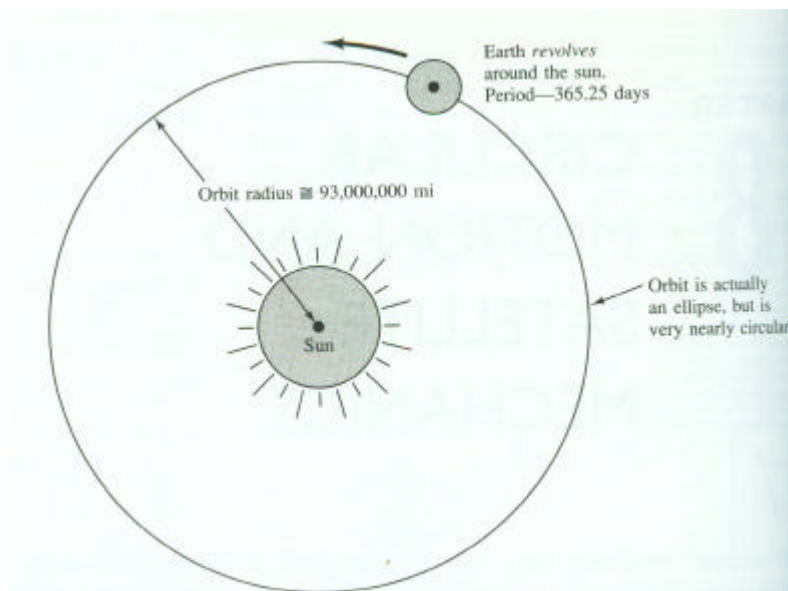
pengukuran sudut lebih besar daripada derajat, tetapi lebih kecil daripada revolusi dan disebut radian (disingkat dengan rad).

Gambar 1.8

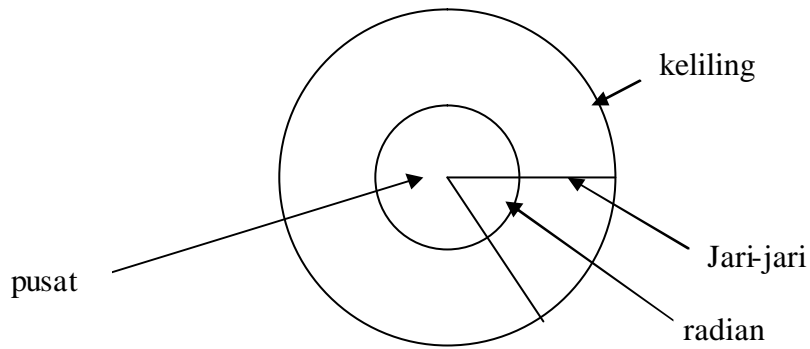
Perbandingan translasi dan rotasi (a) Diagram mesin silinder, piston, dan batang penghubung yang menunjukkan batang penghubung dengan dan engkol bergerak bolak balik, gerakan piston di dalam gerakan engkol (b) Mesin mobil empat silinder, menunjukkan bagian mesin yang bervariasi. Beberapa ada yang berotasi saat mesin sedang bergerak, beberapa ada yang bergerak translasi. Beberapa seperti batang penghubung melakukan gerakan yang rumit.



8) Gerakan bumi mengelilingi matahari

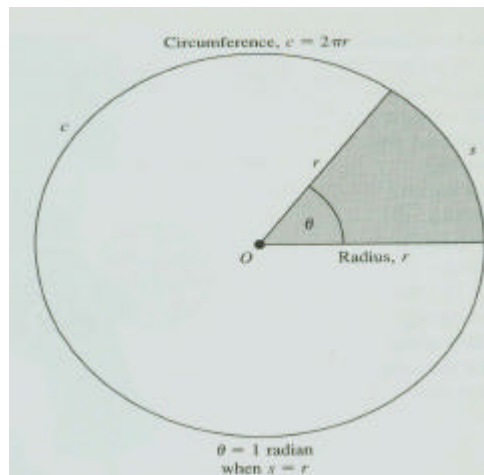


Gambar 1-9 Bumi berputar mengelilingi matahari



Gambar 1-10 Keliling lingkaran

Keliling lingkaran $s = 2\pi \times$ jari-jari. Jarak yang ditempuh satu kali putaran adalah 360° .



Gambar 1-11 Diagram radian

Radian adalah ukuran suatu sudut yang arc sepanjang keliling adalah sama dengan jari-jarinya. Sudut θ didefinisikan sebagai satu radian saat s panjang arc, jari-jari sama dengan r . Karena $c = 2\pi r$, kita mempunyai 2π rad = 360° , dan 1 rad = $360^\circ/2\pi \approx 57,3^\circ$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ rev} &= 360^\circ \\
 &= 2\pi \text{ rad} \\
 1 \text{ rad} &= 57,3^\circ,
 \end{aligned}$$

Karena $\theta = 1$ rad saat $s=r$, $\theta = 2$ rad saat $s = 2r$ dan secara umum

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

panjang arc = jari-jari x perpindahan sudut dalam radian.

Ini adalah persamaan dasar untuk pengukuran radian. Ini adalah persamaan dasar untuk gerakan dalam lintasan melingkar. Radian sebagai satuan pengukuran sudut merupakan kuantitas tak bersatuan, karena perbandingan antara dua besaran panjang. Dari tiga satuan ukuran sudut, revolusi (rev), derajat ($^{\circ}$), radian (rad). Radian adalah ukuran standar yang digunakan oleh ilmuwan. Mesin mekanik sering menggunakan revolusi sebagai suatu satuan.

9) Kecepatan sudut

Jika gerakan rotasi beraturan, misalnya kelajuannya konstan, sering digambarkan dalam istilah revolusi per menit (rpm) atau revolusi per sekon (rps). Untuk beberapa tujuan industri, pengukuran kecepatan sudut disini memuaskan secara sempurna. Akan tetapi, kita sering perlu untuk mengetahui kelajuan linier (tangensial) suatu titik yang berotasi, misalnya kelajuan baling-baling pesawat, kelajuan rotor turbin. Kecepatan sudut dalam revolusi per menit tidak memberi informasi arah pada kelajuan. Oleh karenanya para ahli mesin dan teknisi sering menyatakan kecepatan sudut dalam radian per detik, dinyatakan oleh symbol ω . Karena $\omega = \frac{\theta}{t}$ pada persamaan 8.1. jika kita membagi kedua sisi dengan t kita mendapatkan:

$$\frac{\omega}{t} = \frac{s}{rt}$$

Sekarang $\frac{\omega}{t}$ adalah perpindahan sudut persatuan waktu atau kecepatan sudut ω diukur dalam rad/s . Dan s/t adalah kelajuan linier,

v , dari suatu titik pada lingkaran. Akibatnya kecepatan sudut = kelajuan linier/ jari-jari. Dalam persamaan ditulis sebagai $\omega = \frac{v}{r}$ atau $v = \omega r$

Persamaan 8.2 adalah dasar hubungan antara kelajuan linier (tangensial) dari suatu titik pada suatu benda yang sedang berotasi dan kecepatan sudut suatu benda. Baik kecepatan sudut (ω) atau kelajuan linier (v) dapat diperoleh jika jari-jari diketahui dan dapat diukur.

Dalam satuan SI

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{m/s}}{\text{jari (m)}}$$

Dalam satuan inggris

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{ft/s}}{\text{jari (ft)}}$$

Anda harus mengingat bahwa kecepatan sudut, ω , mempunyai dimensi waktu (yaitu s^{-1}), karena satuan panjang bagian kanan persamaan ini dihilangkan.

Kecepatan sudut dalam radian per detik dikaitkan dengan kecepatan sudut dalam putaran per menit adalah sebagai berikut.

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \left(\frac{\text{putaran}}{\text{menit}} \right) \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{putaran}} \cdot \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}}$$

atau sebagai rumus

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \frac{2\pi \text{ rad / putaran}}{60 \text{ s/menit}} \cdot \frac{\text{putaran}}{\text{menit}}$$

Kecepatan sudut dalam putaran/menit sering dinyatakan sebagai rpm, tetapi persamaan ini seharusnya tidak digunakan dalam menyelesaikan masalah, karena analisis dimensionalnya tidak dimungkinkan.

10) Perpindahan sudut dalam kaitannya dengan kecepatan sudut

Jika suatu benda yang sedang berputar menempuh sudut θ rad dalam waktu t detik kecepatan sudut rata-ratanya dihitung dengan persamaan $\theta = \frac{\omega}{t}$ persamaan ini dapat dituliskan sebagai $\theta = \omega t$. Persamaan ini menyatakan perpindahan sudut pada gerakan memutar dalam istilah kecepatan sudut dan waktu. Ini sama dengan persamaan yang menyatakan perpindahan linier dalam istilah kecepatan linier rata-rata dan waktu ($s = vt$), untuk translasi.

11) Percepatan sudut

Sebuah benda yang berotasi memiliki perubahan kecepatan sudut, seperti halnya benda yang bergerak linier memiliki bermacam-macam kecepatan. Jika kecepatan sudut benda mengalami perubahan dari ω_1 menjadi ω_2 , dalam interval waktu t , maka percepatan sudutnya α dinyatakan dengan persamaan:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

Persamaan ini sering dinyatakan dalam bentuk lain seperti berikut

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

12) Gaya sentrifugal

Setiap gaya aksi berpasangan dengan gaya reaksi yang besarnya sama, arahnya saling berlawanan. Sebagai contoh lempar martil, gaya sentripetal yang dilakukan oleh rantai pada bola, dan itu mengakibatkan percepatan arahnya ke pusat lingkaran yang menimbulkan bola tetap bergerak melingkar pada orbitnya. Gaya reaksi arah ke luar, dilakukan oleh bola pada tali. Tali memindahkan gaya tersebut pada tangan seorang yang berolahraga lempar martil.

Karena gaya tersebut arahnya menjauhi pusat lingkaran disebut gaya sentrifugal.

13) Hubungan antara Gerak Translasi dan Gerak Melingkar

Tinjau gambar 12, sebuah titik P bergerak sampai Q dengan menempuh jarak s dan sudut yang ditempuh adalah θ . Secara matematis hubungan antara θ dan s dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Sudut yang ditempuh } \theta = \frac{\text{Panjang busur}}{\text{Jari-jari}} \quad (6)$$

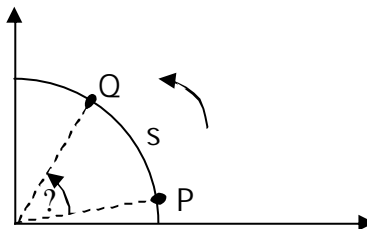
$$\theta = \frac{s}{R}$$

Dengan:

s = panjang busur lingkaran (cm atau meter)

R = jari-jari lingkaran (cm atau meter)

θ = sudut yang ditempuh (rad)



Gambar 12. Titik P bergerak menuju Q menempuh jarak s dan sudut tempuh θ

Jika ditinjau untuk sudut tempuh partikel yang kecil ($\theta \ll 1$), panjang busur kecil (s) yang ditempuh dalam waktu (t), maka:

$$\text{Kecepatan sudut/melingkar: } \omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}, \text{ dan} \quad (7a)$$

$$\text{Kecepatan translasi : } v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = R\omega \quad (7b)$$

Percepatan sudut/melingkar: $\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$, dan (8a)

Percepatan translasi: $a_T = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = R\alpha$ (8b)

Percepatan tangensial (a_T) merupakan percepatan translasi yang selalu menyinggung busur lingkaran, sedangkan percepatan radial adalah percepatan yang arahnya menuju pusat lingkaran, yang biasa juga disebut sebagai percepatan sentripetal (a_s):

$$a_T = R\alpha \quad \text{dan} \quad a_s = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = R\omega^2 \quad (9)$$

sehingga percepatan total yang dialami benda adalah: $a = \sqrt{a_T^2 + a_s^2}$

Tabel-1. Gerak Translasi dan Gerak Melingkar dengan Percepatan Tetap

Gerak Translasi	Gerak Melingkar
1. $v = \frac{ds}{dt}$	1. $\omega = \frac{d\theta}{dt}$
2. $a = \frac{dv}{dt}$	2. $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$
3. $v(t) = v_0 + at$	3. $\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$
4. $x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	4. $\theta(t) = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
5. $v(t)^2 = v_0^2 + 2a(x(t) - x_0)$	5. $\omega(t)^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta(t) - \theta_0)$

Catatan: rpm = rotasi per menit, cps = putaran per sekon

14) Energi Kinetik Gerak Melingkar

Dari rumusan umum, diperoleh bahwa energi kinetik benda yang bergerak dengan kecepatan linier v , adalah:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mR^2\omega^2 = \frac{1}{2}(mR^2)\omega^2 = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (10)$$

Dimana:

E_k = energi kinetik gerak melingkar/rotasi (Joule)

I = momen inersia benda (kg/m^2)

ω = kecepatan anguler benda (rad/s).

15) Momentum Anguler

Besarnya momentum anguler sebuah materi/benda dengan massa m bergerak melingkar terhadap pusat sumbu rotasinya dinyatakan dengan persamaan:

$$L = I \omega = mR^2 \omega \quad (11)$$

Dengan menggunakan konsep hukum Newton II, bahwa: $F = \frac{dp}{dt}$, dengan $p = mv =$ momentum linier, sehingga momen gaya (τ) dapat dirumuskan menjadi:

$$\tau = \frac{dL}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} = r \times F \quad (12)$$

16) Peristiwa Menggelinding

Mengelinding adalah peristiwa Bergeraknya sebuah benda secara translasi sekaligus disertai dengan rotasi. Benda dikatakan murni menggelinding jika gerak translasi dan rotasi benda terjadi secara bersamaan, artinya benda tidak mengalami slip, atau jarak tempuh dalam satu kali putaran silinder/roda sama dengan keliling silinder/roda.

a. Pada bidang horisontal

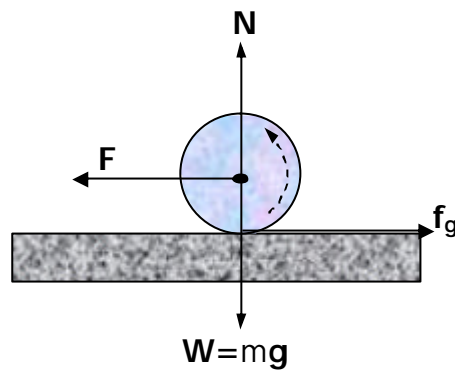
Tinjau bola pejal menggelinding dengan gaya F , dan gaya geseknya terhadap bidang f_g , dan jika massa bola pejal adalah m dengan jari-jari R , maka berlaku hubungan:

(1) Gerak translasi: $F - f_g = ma$ dan $N = mg = 0$.

(2) Gerak rotasi: $\tau = I\alpha$ dan $\tau = r \times F = f_g R$, sehingga: $f_g = I \frac{a}{R^2}$

Jika dilakukan substitusi dari gerak rotasi dan translasi, maka

akan diperoleh percepatan benda: $a = \frac{F}{m + \frac{I}{R^2}}$ (13)



Gambar 13. Bola pejal menggelinding dengan gaya F

Catatan:

1. momen inersia bola pejal, $I = \frac{1}{2} mR^2$
2. momen inersia silinder pejal, $I = \frac{1}{2} mR^2$
3. momen inersia Bola berongga, $I = \frac{2}{3} mR^2$
4. momen inersia silinder berongga, $I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$
5. dan seterusnya.

b. Pada bidang miring

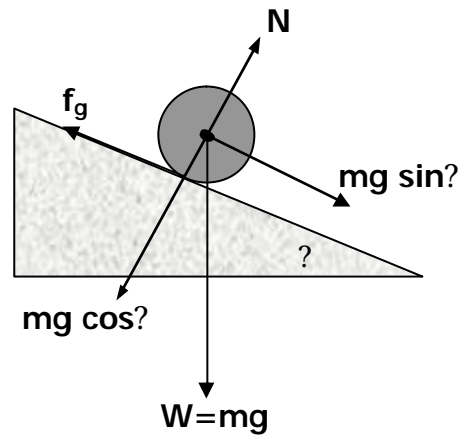
Tinjau silinder pejal menggelinding pada bidang miring, sehingga harus ada gaya geseknya terhadap bidang f_g agar tidak tergelincir, dan jika massa silinder pejal adalah m dengan jari-jari R, maka berlaku hubungan:

(1) Gerak translasi: $mg \sin \theta = f_g = ma$ dan $N = mg \cos \theta = 0$.

(2) Gerak rotasi: $\tau = I\alpha$ dan $\tau = r \times F = f_g R$, sehingga: $f_g = I \frac{a}{R^2}$

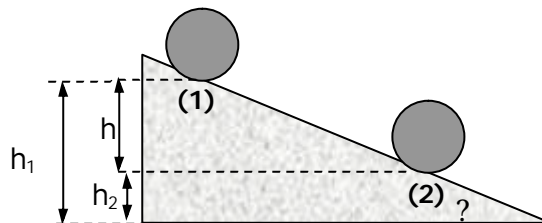
Jika dilakukan substitusi dari gerak rotasi dan translasi, maka

$$\text{akan diperoleh percepatan benda: } a = \frac{mg \sin \theta}{m + \frac{I}{R^2}} \quad (14)$$



Gambar 14. Silinder pejal menggelinding diatas bidang miring dengan sudut kemiringan θ

c. Hukum Kekekalan Energi



Gambar 14. Benda menggelinding murni diatas bidang kasar dengan kemiringan θ

Pada posisi (1) benda hanya mempunyai energi potensial saja, karena benda tersebut dilepaskan tanpa kecepatan awal, hingga pada kedudukan (2) benda mempunyai energi potensial sekaligus energi kinetik. Hukum kekekalan energi yang berlaku pada sistem tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{m_1} &= E_{m_2} \\
 E_{p_1} &= E_{p_2} + E_{k_2} \\
 mgh_1 &= mgh_2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

sehingga,

$$\begin{aligned}
 mgh_1 - mgh_2 &= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kR^2\omega^2 \\
 mgh &= \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{2}k\omega^2, \text{ dimana } \omega = \frac{v}{R}
 \end{aligned}$$

Dan,

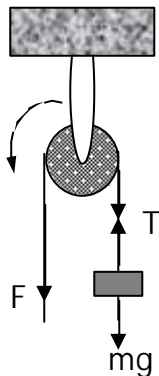
$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \frac{k}{R^2}}}, \text{ k = konstanta momen inersia}
 \tag{16}$$

Catatan: silinder pejal $k = \frac{1}{2}$, bola pejal $k = \frac{1}{2}$,

bola berongga $k = \frac{2}{3}$

d. Beban dihubungkan katrol

Tinjau sistem katrol pada gambar 15, beban bermassa m dihubungkan dengan tali (massa tali diabaikan), katrol mempunyai momen inersia I dan jari-jari R . Tali ditarik dengan gaya F sehingga beban bergerak keatas dengan suatu percepatan tertentu.



Gambar 15. Benda bermassa m dihubungkan dengan sebuah katrol

Sehingga berlaku:

Gerak translasi pada benda:

$$T - mg = ma, \text{ sehingga } T = mg + ma
 \tag{17}$$

Gerak rotasi dari katrol:

$$(F - T)R = I \frac{a}{R} \quad (18)$$

Sehingga (dari persamaan 17 dan 18), diperoleh hubungan:

$$a = \frac{R^2 F - mg}{I + mR^2} \quad (19)$$

karena momen inersia katrol (bentuk silinder pejal) $I = \frac{1}{2}MR^2$, M adalah massa silinder pejal. Persamaan (19) dapat disederhanakan menjadi:

$$a = \frac{2F - mg}{M + 2m} \quad (20)$$

Contoh-contoh soal:

1. Sebuah titik materi bergerak melingkar berubah beraturan dengan kecepatan sudut awal 20 rad/s. Setelah bergerak selama 8 sekon, titik materi tersebut berhenti. Tentukan: (a) percepatan yang dialami titik materi, dan (b) besar sudut yang ditempuh.

Penyelesaian:

- (a). Diketahui: $\omega_0 = 20 \text{ rad/s}$, $t = 8 \text{ s}$

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_0 + \alpha t, \text{ maka } \alpha = \frac{\omega(t) - \omega_0}{t} \\ &= \frac{0 - 20 \text{ rad/s}}{8} \\ &= -2,5 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

(titik materi mengalami perlambatan -2,5 rad/s).

- (b). Besar sudut yang ditempuh selama $t = 8 \text{ s}$,

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \\ &= (20 \text{ rad/s}) \cdot 8 \text{ s} + \frac{1}{2} (-2,5 \text{ rad/s}^2) \cdot 8 \text{ s}^2 \\ &= 160 \text{ rad} - 80 \text{ rad} = 80 \text{ rad} \end{aligned}$$

2. Sebuah piringan dengan jari-jari 10 cm berputar dengan kecepatan sudut tetap 4 rad/s. Sebuah titik materi terletak pada tepi piringan tersebut. Tentukan: (a) percepatan tangensial, (b) percepatan sentripetal, dan (c) percepatan total yang dialami oleh titik materi tersebut.

Penyelesaian:

(a). Karena kecepatan sudut $\omega =$ tetap, maka percepatan sudut $a = 0$,

maka: percepatan tangensial:

$$a_T = \omega R = 0$$

(b). Percepatan radial/sentripetal:

$$a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = (4 \text{ rad/s})^2 (0,1 \text{ m}) = 1,6 \text{ m/s}^2$$

3. Sebuah benda bermassa 5 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 1,5 m. Jika kecepatan sudut tetap 2 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$. Tentukan tegangan tali pada saat benda pada titik (a) terendah, dan (b) tertinggi.

Penyelesaian:

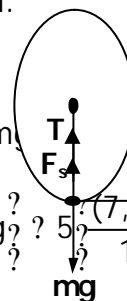
(a). Diketahui $m = 5 \text{ kg}$, $R = 1,5 \text{ m}$, $\omega = 2 \text{ rad/s}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$

Tegangan tali pada titik terendah:

$$T = mg + F_s$$

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

$$= m \frac{\omega^2 R}{R} + g = 5 \frac{(2)^2}{1,5} + 10 = 250,2 \text{ N}$$

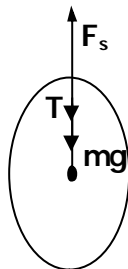


kecepatan benda pada titik terendah diperoleh dengan menggunakan hukum kekekalan energi,

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 1,5} = 7,75 \text{ m/s}^2$$

(b). Diketahui $m = 5 \text{ kg}$, $R = 1,5 \text{ m}$, $\omega = 2 \text{ rad/s}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$

Tegangan tali pada titik terendah:



$$T = mg + F_s$$

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

$$= m \omega^2 R + g = 5 \cdot (2)^2 + 1,5 \cdot 10 = 20 \text{ N}$$

4. Tinjau sebuah silinder pejal berotasi terhadap pusat sumbu rotasinya, jika massa silinder 5 kg dan jari-jariya 10 cm, serta berputar dengan kecepatan sudut tetap 20 rad/s, tentukan: (a) energi kinetik rotasinya, dan (b). Momentum angulernya.

Penyelesaian:

(a). Diketahui: $m = 5 \text{ kg}$, $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$, $\omega = 20 \text{ rad/s}$

Maka: energi kinetik rotasi,

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

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{mR^2}{2} \right) \omega^2$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{5 \cdot 0,1^2}{2} \right) 20^2 = 5 \text{ Jolue}$$

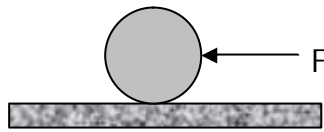
(b). Momentum sudut, L:

$$L = I \omega = \frac{1}{2} mR^2 \omega$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,1^2 \cdot 20 = 0,5 \text{ kgm}^2 / \text{s}$$

5. Tinjau silinder pejal bermassa 25 kg dan jari-jari 10 cm, didorong dengan gaya 125 N. Tentukan percepatan yang dialami silinder jika: (a) tidak ada gesekan antara alas dan silinder (tergelincir), (b) ada gesekan sehingga silinder menggelinding sempurna.

Penyelesaian:



Diketahui: $m = 25 \text{ kg}$, $R = 0,1 \text{ m}$, $F = 125 \text{ N}$

Maka percepatan yang dialami silinder, jika:

(a). Lantai licin, silinder tergelincir:

$$F = ma \quad \text{dan} \quad \tau = I\alpha = 0$$

sehingga:

$$F = ma, \text{ atau } a = \frac{F}{m} = \frac{125 \text{ N}}{25 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$$

(b) Lantai kasar, silinder menggelinding sempurna:

$$F = 0, \text{ dan } \tau = I\alpha \neq 0$$

Gunakan persamaan (13):

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2}{3} \frac{F}{m} \quad (\text{silinder pejal})$$

$$= \frac{2}{3} \frac{125 \text{ N}}{25 \text{ kg}} = 3,33 \text{ m/s}^2$$

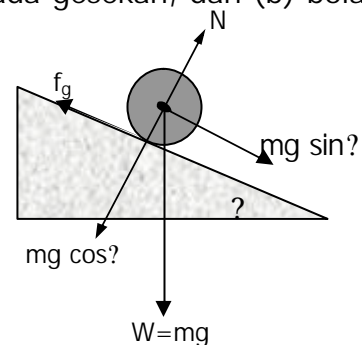
6. Sebuah bola pejal dengan massa 2 kg dan jari-jarinya 2 cm, ditempatkan pada bidang miring dengan kemiringan 30° . Tentukan percepatan yang dialami bola jika: (a) tidak ada gesekan, dan (b) bola menggelinding.

Penyelesaian:

(a). Percepatan bola, jika bidang licin:

maka: $mg \sin \theta = ma$, atau

$$a = g \sin \theta = 10 \sin 30 = 5 \text{ m/s}^2$$



(b). Percepatan bola, lantai kasar (peristiwa menggelinding sempurna):

$$\sum F = ma, \text{ maka } :mg \sin \theta - f_s = ma$$

$$\sum \tau = I \alpha, \text{ maka } :f_s \cdot R = I \alpha, \text{ jika disederhanakan: } f_s = \frac{1}{2} ma$$

(untuk bola pejal $I = \frac{1}{2} mR^2$), sehingga dengan melakukan substitusi:

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

atau,

$$a = g \sin \theta$$

$$= 10 \sin 30$$

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

7. Sebuah silinder pejal dengan massa 2 kg, berjari-jari 10 cm, menggelinding murni pada sebuah bidang datar dengan kelajuan 20 m/s. Tentukan: (a) energi kinetik translasi, (b) energi kinetik rotasi terhadap sumbu silinder, dan (c) energi kinetik silinder yang menggelinding.

Penyelesaian:

(a). Energi kinetik translasi: $E_{k_{\text{Translasi}}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} (2) (20)^2 = 400 \text{ Joule}$

(b). Energi kinetik rotasi:

$$E_{k_{\text{Rotasi}}} = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} mR^2 \right) \omega^2$$

$$= \frac{1}{4} (2) (0,1)^2 (20)^2$$

$$= 200 \text{ Joule}$$

(c). Energi kinetik silinder:

$$E_k = E_{k_{\text{Translasi}}} + E_{k_{\text{Rotasi}}}$$

$$= 400 \text{ J} + 200 \text{ J}$$

$$= 600 \text{ Joule}$$

8. Sebuah katrol yang berjari-jari 10 cm dan massanya 0,8 kg dililiti seutas tali yang massanya diabaikan, kemudian diberi beban 0,4 kg sehingga katrol berputar pada porosnya yang licin. Tentukan percepatan angular yang dialami katrol karena pengaruh beban.

Penyelesaian:

Persamaan translasi pada beban:

$$mg - T = ma, \text{ atau } T = m(g - a)$$

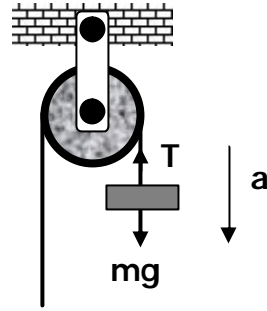
Persamaan rotasi pada sistem katrol:

$$T \cdot R = I \cdot \alpha, \text{ sehingga } T = \frac{I \cdot \alpha}{R}$$

$$= \frac{T \cdot R}{\frac{1}{2}MR^2}$$

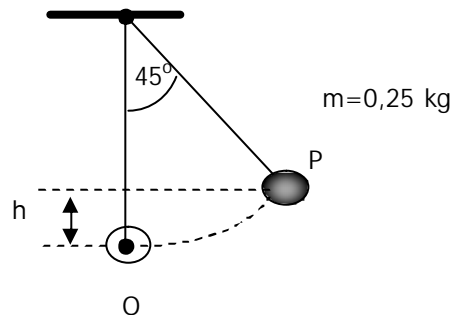
$$= \frac{2m \cdot g - a}{MR}, \text{ a} = \frac{2}{3}R$$

$$= \frac{2mg}{(M + 2m)R} = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10}{0,8 + 2 \cdot 0,4 \cdot 0,1} = 50 \text{ rad/s}^2$$



9. Sebuah benda dengan massa 0,25 kg digantung dengan benang (massa benang diabaikan) dan diayunkan hingga ketinggian 10 cm dari posisi awal O (lihat gambar). Bila $g = 10 \text{ m/s}^2$, kecepatan benda pada saat benda di O adalah.....

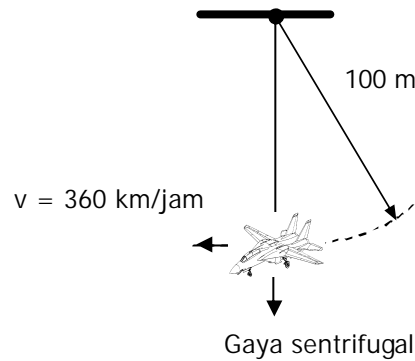
Penyelesaian:



Dengan menggunakan hukum kekekalan energi, diperoleh:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,1} = 1,44 \text{ m/s}$$

10. Bila berat seorang pilot pesawat 60 kg, maka ketika pesawat terbang bergerak dengan lintasan seperti pada gambar, maka pilot tersebut merasakan gaya sebesar:



Penyelesaian:

Kecepatan: $v = 360 \text{ km/jam} = 100 \text{ m/s}$

Gaya sentripetal yang dialami pilot:

$$F_s = m \frac{v^2}{R} = (60 \text{ kg}) \cdot \frac{(100 \text{ m/s})^2}{100 \text{ m}} = 6000 \text{ N}$$

Gaya berat yang dialami pilot:

$$W = mg = 60 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 600 \text{ N}$$

Sehingga pilot di dalam pesawat, mengalami gaya:

$$F = F_s + W = 6.600 \text{ N}$$

c. Rangkuman

- ? Gerak melingkar adalah suatu gerak yang memiliki lintasan melingkar, dan kecepatannya selalu berubah arahnya.
- ? Gerak melingkar beraturan adalah suatu gerak melingkar yang memiliki kelajuan konstan.
- ? Benda atau partikel yang bergerak melingkar, arah geraknya selalu berubah, sehingga memiliki percepatan yang arahnya selalu ke pusat lingkaran. Percepatan ini disebut percepatan sentri petal.
- ? Gaya yang mengakibatkan percepatan sentripetal disebut gaya sentripetal.
- ? Berbagai contoh benda yang bergerak melingkar di antaranya bumi berputar mengelilingi matahari, baling-baling, rotor turbin, mesin cuci.

- ? Benda yang bergerak melingkar mengalami percepatan dengan arah tangensial (a_T) dan radial yang arahnya menuju pusat lingkaran, yang biasa juga disebut sebagai percepatan sentripetal (a_s):

$$a_T = v/R \quad \text{dan} \quad a_s = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = R\omega^2$$

Sehingga percepatan total yang dialami benda adalah: $a = \sqrt{a_T^2 + a_s^2}$

- ? Menggelinding adalah peristiwa Bergeraknya sebuah benda secara translasi sekaligus disertai dengan rotasi. Silinder/roda dikatakan menggelinding jika jarak tempuh satu kali putaran sama dengan kelilingnya.

- ? Percepatan benda yang menggelinding pada bidang datar, maka

berlaku hubungan: $a = \frac{F}{m + \frac{I}{R^2}}$.

- ? Percepatan benda yang menggelinding pada bidang miring, maka

berlaku hubungan: $a = \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}}$.

- ? Percepatan benda yang dihubungkan dengan katrol yang bermassa

M dapat dinyatakan dengan hubungan: $a = \frac{2(F + mg)}{M + 2m}$.

- ? Hukum kekekalan energi juga berlaku pada sistem yang bergerak secara menggelinding, dengan menambahkan energi rotasiya, sehingga:

$$E_{m_1} + E_{p_1} + E_{k_1} + E_{r_1} = E_{m_2} + E_{p_2} + E_{k_2} + E_{r_2}$$

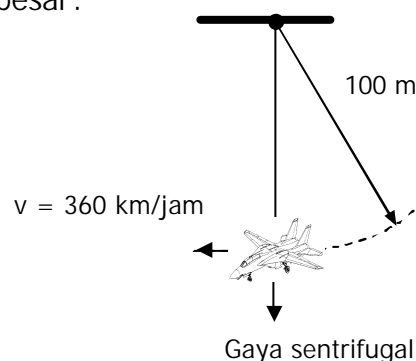
$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}I\omega_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}I\omega_2^2$$

d. Tugas

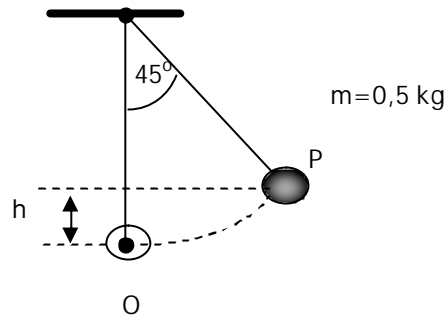
1. Sebutkan 2 ciri suatu benda yang sedang bergerak melingkar beraturan.
2. Apa yang dimaksud dengan percepatan sentripetal.
3. Apa perbedaan antara kecepatan linier dan kecepatan sudut.
4. Apa perbedaan antara gerak rotasi dan revolusi
5. Apakah setiap benda yang bergerak melingkar beraturan, bekerja gaya sentrifugal? Jelaskan!
6. Seorang pelari berlari dengan kelajuan 8,8 m/s mengelilingi lapangan yang berjari-jari 25 m. Berapa percepatan sentripetal pelari tersebut.
7. Anggaplah ada perubahan salah satu besaran pada benda yang bergerak melingkar:
 - a) Bila massa benda diduakalikan, besaran yang lain tetap sama dari semula, apakah berpengaruh pada kecepatan, percepatan, dan gayanya? Jelaskan berapa besar pengaruh tersebut!
 - b) Bila jari-jari lingkaran diduakalikan, besaran yang lain tetap sama dari semula, apakah berpengaruh pada kecepatan, percepatan, dan gayanya? Jelaskan berapa besar pengaruh tersebut!
 - c) Bila periode putaran benda setengah dari semula, besaran yang lain tetap sama dari semula, apakah berpengaruh pada kecepatan, percepatan, dan gayanya? Jelaskan berapa besar pengaruhnya.
8. Sebuah tutup sumbat karet 0,13 g diikat dengan tali yang panjangnya 0,93 m. Tutup karet tersebut diputar membentuk lingkaran horisontal, satu kali putaran diperlukan waktu 1,18 s. Tentukan gaya tegangan yang dilakukan oleh tali pada tutup karet tersebut.

e. Tes Formatif

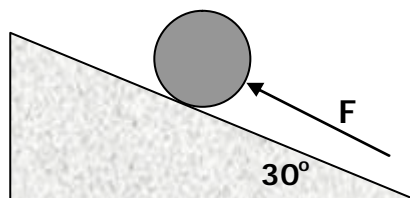
1. Sebuah benda bermassa 0,1 kg bergerak melingkar beraturan dengan kelajuan 10 m/det, jika jari-jari lintasannya 2 m. Besarnya gaya sentripetal yang dialami benda tersebut adalah?
2. Seorang peserta diklat SMK memutar sebuah batu yang diikatkan pada ujung seutas tali. Batu diputar secara horisontal. Jika laju berputarnya batu dijadikan dua kali semula, maka gaya sentripetal yang dialami batu menjadi?
3. Planet P dan Q masing-masing berjarak rata-rata sebesar x dan y terhadap matahari. Planet P mengitari matahari dengan periode T . Jika $x = 4y$, maka Q mengitari matahari dengan periode?
4. Sebuah benda bermassa 5 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 1,5 m. Jika kecepatan sudut tetap 2 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$, maka tegangan tali pada saat benda pada titik terendah adalah?
5. Sebuah benda bermassa 2 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 0,5 m. Jika kecepatan sudut tetap 6 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$, maka tegangan tali pada saat benda pada titik tertinggi adalah?
6. Bila berat seorang pilot pesawat 65 kg, maka ketika pesawat terbang bergerak dengan lintasan seperti pada gambar, maka pilot tersebut merasakan gaya sebesar:



7. Sebuah benda dengan massa 0,5 kg digantung dengan benang (massa benang diabaikan) dan diayunkan hingga ketinggian 20 cm dari posisi awal O (lihat gambar). Bila $g = 10 \text{ m/s}^2$, kecepatan benda pada saat benda di O adalah?



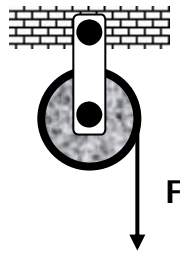
8. Dari keadaan diam sebuah benda berotasi sehingga dalam waktu 1 sekon benda memiliki kecepatan 4 rad/s. Titik A berada pada benda tersebut, berjarak 4 cm dari sumbu rotasinya. Percepatan tangensial rata-rata yang dialami titik A adalah?
9. Sebuah partikel bermassa 0,2 gram bergerak melingkar dengan kecepatan sudut 10 rad/s. Jika jari-jari lintasan partikel 3 cm, maka momentum sudut partikel tersebut adalah?
10. Benda yang massanya 20 kg terletak pada bidang miring yang licin dengan sudut 30° , ditahan oleh suatu gaya menuju pusat massa benda sehingga diam di tempat. Jika percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, tentukan besar gaya penahan tersebut.



11. Dalam keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut 15 rad/s^2 . Titik P berada pada benda tersebut, berjarak 10 cm dari sumbu putar benda. Tepat setelah benda

berotasi selama 0,4 sekon, maka tentukan percepatan total yang dialami titik P.

12. Perhatikan gambar sebuah roda pejal homogen. Pada tepi roda dililitkan tali dan kemudian ujung tali ditarik dengan gaya $F=6$ N. Jika massa roda 5 kg dari jari-jarinya 20 cm, tentukan percepatan sudut roda tersebut.



f. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. $F_s = 5$ N
2. $F_s = 4$ kali (F_s) mula-mula
3. Periode planet Q = $\frac{1}{8}$ periode planet P
4. $T = 80$ N
5. $T = 16$ N
6. $F = 7.150$ N
7. $v = 2$ m/s
8. $a_T = 16$ m/s
9. $L = 6 \times 10^{-5}$ kg m²/s
10. $F = 98$ N
11. $a = 3,9$ m/s
12. $a = 6$ rad/s²

g. Lembar Kerja

1) Alat dan bahan:

- ? Alat sentripetal.
- ? Beban.
- ? Stopwatch.
- ? Penggaris.
- ? Neraca/timbangan.

2) Langkah percobaan

- ? Gantungkan beban pada salah satu ujung tali dan ujung lain diikatkan pada benda (tutup karet/bola pejal) yang akan diputar.
- ? Putarlah benda tersebut melingkar secara horisontal sampai beban tidak naik atau turun (keadaan setimbang).
- ? Catat waktu yang diperlukan dalam 10 kali putaran. Tentukan besar periodenya (T).
- ? Timbang beban dan benda yang berputar dengan neraca.
- ? Ukur panjang tali yang merupakan jari-jari lingkaran putaran benda tersebut.
- ? Temukan hubungan persamaan pada gerak melingkar beraturan berdasarkan hasil percobaan tersebut.

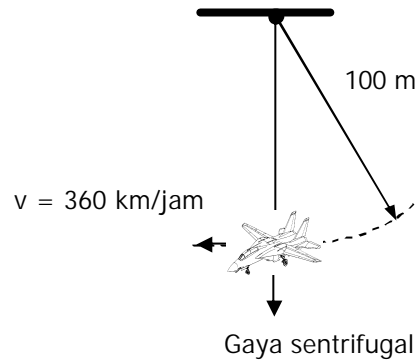
BAB III. EVALUASI

A. Tes Tertulis

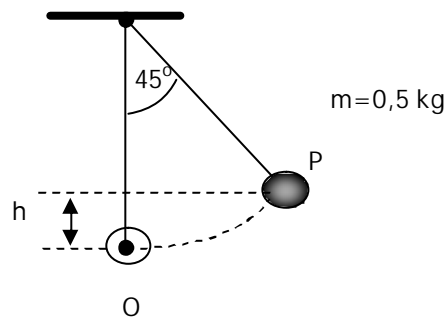
1. Sebuah benda bermassa 0,2 kg bergerak melingkar beraturan dengan kelajuan 8 m/det, jika jari-jari lintasannya 2 m. Besarnya gaya sentripetal yang dialami benda tersebut adalah?
2. Seorang siswa memutar sebuah batu yang diikatkan pada ujung seutas tali. Batu diputar secara horisontal. Jika laju berputarnya batu dijadikan tiga kali semula, maka gaya sentripetal yang dialami batu menjadi?
3. Sebuah bola bermassa 0,2 kg diikat dengan tali sepanjang 0,5 m kemudian diputar sehingga melakukan gerakan melingkar beraturan dalam bidang vertikal. Jika saat mencapai titik terendah laju bola adalah 5 m/s, maka tegangan tali pada saat itu adalah?
4. Sebuah benda bermassa 4 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 0,8 m. Jika kecepatan sudut tetap 3 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$, maka tegangan tali pada saat benda pada titik terendah adalah...
5. Sebuah benda bermassa 3 kg yang diikat dengan tali, berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu adalah suatu lingkaran dengan jari-jari 0,6 m. Jika kecepatan sudut

tetap 6 rad/det, dan percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/det}^2$, maka tegangan tali pada saat benda pada titik tertinggi adalah?

6. Bila berat seorang pilot pesawat 58 kg, maka ketika pesawat terbang bergerak dengan lintasan seperti pada gambar, maka pilot tersebut merasakan gaya sebesar:

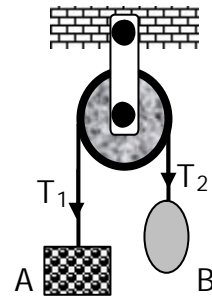


7. Sebuah benda dengan massa 0,3 kg digantung dengan benang (massa benang diabaikan) dan diayunkan hingga ketinggian 30 cm dari posisi awal O (lihat gambar). Bila $g = 10 \text{ m/s}^2$, kecepatan benda pada saat benda di O adalah?



8. Dari keadaan diam sebuah benda berotasi sehingga dalam waktu 0,2 sekon benda memiliki kecepatan 2 rad/s. Titik A berada pada benda tersebut, berjarak 2 cm dari sumbu rotasinya. Percepatan tangensial rata-rata yang dialami titik A adalah?

9. Sebuah partikel bermassa 0,4 gram bergerak melingkar dengan kecepatan sudut linier 8 rad/s. Jika jari-jari lintasan partikel 5 cm, maka momentum sudut partikel tersebut adalah?
10. Sebuah silinder pejal dengan massa 1 kg, jari-jari 1 cm, ditempatkan pada bidang miring dengan sudut 37° . Tentukan percepatan yang dialami silinder jika tidak ada gesekan (bidang licin).
11. Sebuah silinder pejal dengan massa 1 kg, jari-jari 1 cm, ditempatkan pada bidang miring dengan sudut 37° . Tentukan percepatan yang dialami silinder jika bidang kasar, silinder menggelinding sempurna.
12. Perhatikan gambar sebuah roda pejal homogen dengan massa 2 kg. Massa beban B lebih besar dari beban A. Jika percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan tegangan tali $T_1 = 24 \text{ N}$, maka tentukan tegangan tali T_2 .

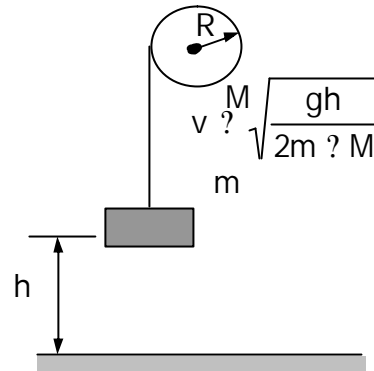


B. TES PRAKTIK

Menentukan kecepatan sudut katrol berbentuk silinder tipis.

1. Alat dan bahan :

- ? 1 set alat adwood
- ? Beban
- ? Stopwatch
- ? Penggaris
- ? Neraca/timbangan



2. Langkah percobaan

- ? Timbang massa katrol, dan tentukan massa beban.
- ? Gantungkan beban pada salah satu ujung tali dan ujung lain ditahan , sesaat kemudian dilepas, ketinggian beban dari tanah adalah h.
- ? Lakukan masing-masing 5 kali untuk massa beban (m) dan ketinggian beban (h) yang sama.
- ? Catat ketinggian beban (h), waktu yang dibutuhkan beban sampai menyentuh tanah, dan hitung kecepatan/ kelajuan beban turun , bandingkan dengan perhitungan teoritis dengan rumus diatas.
- ? Temukan hubungan kecepatan sudut dari katrol yang mengalami gerak melingkar beraturan berdasarkan hasil percobaan tersebut terhadap kecepatan beban (v).

Tabel Data Pengamatan

Perc. ke	m (kg)	M (kg)	h (m)	t (s)	v (m/s)
1					
2					
3					
.....					

A. Kunci Jawaban Evaluasi

1. $F_s = 6,4 \text{ N}$
2. $F_s = 9$ kali gaya sentripetal mula-mula.
3. $T = 12 \text{ N}$
4. $T = 68,8 \text{ N}$
5. $T = 34,8 \text{ N}$
6. $F = 6.380 \text{ N}$
7. $v = 2,45 \text{ m/s}$
8. $a_T = 0,4 \text{ m/s}^2$
9. $L = 1,6 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2/\text{s}$
10. $a = 6 \text{ m/s}$
11. $a = 4 \text{ m/s}$
12. $T_2 = 26 \text{ N}$

B. LEMBAR PENILAIAN TES PESERTA DIKLAT

Nama Peserta :
 No. Induk :
 Program Keahlian :
 Nama Jenis Pekerjaan :

PEDOMAN PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Skor Maks	Skor Perolehan	Keterangan
1	2	3	4	5
I	Perencanaan			
	1.1.Persiapan alat dan bahan	2		
	1.2.Analisis model susunan	3		
	Sub total	5		
II	Model Susunan			
	2.1.penyiapan model susunan	3		
	2.2.Penentuan data instruksi pd model	2		
	Sub total	5		
III	Proses (Sistematika & Cara kerja)			
	3.1.Prosedur pengambilan data	10		
	3.2.Cara mengukur variabel bebas	8		
	3.3.Cara menyusun tabel pengamatan	10		
	3.4.Cara melakukan perhitungan data	7		
	Sub total	35		
IV	Kualitas Produk Kerja			
	4.1.Hasil perhitungan data	5		
	4.2.Hasil grafik dari data perhitungan	10		
	4.3.Hasil analisis	10		
	4.4.Hasil menyimpulkan	10		
	Sub total	35		
V	Sikap / Etos Kerja			
	5.1.Tanggung jawab	3		
	5.2.Ketelitian	2		
	5.3.Inisiatif	3		
	5.4.Kemadiran	2		
	Sub total	10		
VI	Laporan			
	6.1.Sistematika penyusunan laporan	6		
	6.2.Kelengkapan bukti fisik	4		
	Sub total	10		
	Total	100		

KRITERIA PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Kriterian penilaian	Skor
1	2	3	4
I	Perencanaan 1.1.Persiapan alat dan bahan	? Alat dan bahan disiapkan sesuai kebutuhan	3
	1.2.Analisis model susunan	? Merencanakan menyusun model	2
II	Model Susunan 2.1.Penyiapan model susunan	? Model disiapkan sesuai dengan ketentuan	3
	2.2.Penentuan data instruksi pd model	? Model susunan dilengkapi dengan instruksi penyusunan	2
III	Proses (Sistematika & Cara kerja) 3.1.Prosedur pengambilan data	? Mengukur massa beban.	10
	3.2.Cara mengukur variabel bebas	? Mencatat waktu putaran, periode	8
	3.3.Cara menyusun tabel pengamatan	? Melengkapi data pengamatan dan pengukuran dalam tabel	10
	3.4.Cara melakukan perhitungan data	? Langkah menghitung laju benda, periode (T) dan gaya sentripetal	8
IV	Kualitas Produk Kerja 4.1.Hasil perhitungan data	? Perhitungan dilakukan dengan cermat sesuai prosedur	5
	4.2.Hasil grafik dari data perhitungan	? Pemuatan skala dalam grafik dilakukan dengan benar	10
	4.3.Hasil analisis	? Analisis perhitungan langsung dengan metode grafik sesuai/saling mendukung	10
	4.4.Hasil menyimpulkan	? Kesimpulan sesuai dengan konsep teori	5
	4.5. Ketepatan waktu	? Pekerjaan diselesaikan tepat waktu	5

V	Sikap / Etos Kerja		
	5.1.Tanggung jawab	? Membereskan kembali alat dan bahan setelah digunakan	3
	5.2.Ketelitian	? Tidak banyak melakukan kesalahan	2
	5.3.Inisiatif	? Memiliki inisiatif bekerja yang baik	3
	5.4.Kemadirian	? Bekerja tidak banyak diperintah	2
VI	Laporan		
	6.1.Sistematika penyusunan laporan	? Laporan disusun sesuai dengan sistematika yang telah ditentukan	6 4
	6.2.Kelengkapan bukti fisik	? Melampirkan bukti fisik	

BAB IV. PENUTUP

Setelah menyelesaikan modul ini, Anda berhak untuk mengikuti tes evaluasi untuk menguji kompetensi yang telah anda pelajari. Jika anda dinyatakan memenuhi syarat kelulusan dari hasil evaluasi modul ini, maka anda berhak untuk melanjutkan ke topik atau modul berikutnya.

Mintalah pada guru atau instruktur untuk melakukan uji kompetensi sistem penilaian yang dilakukan secara langsung oleh guru atau instruktur yang berkompeten jika anda telah menyelesaikan suatu kompetensi tertentu. Jika anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi dari setiap modul, maka hasil yang berupa nilai dari guru atau instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh asosiasi profesi, dan selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standart pemenuhan kompetensi tertentu dan bila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh asosiasi profesi.

Daftar Pustaka

Banyard, B et al. 1984. *Fudamental Physics*. Melbourne. Longman Cheshire

CosST. 1987. *Practical Physics at Level*. London Collins Educational

Haris, Nm et al, 1995. *Physics: Principles and applications*. New York: Glencoe/McGraw-Hill

Hewitt, P.G., 1987, *Conceptual Physics*. California: Addison Wesley Publishing Company, Inc.