

MODUL 12

GERAK MENGGELINDING PADA BIDANG MIRING

1. TUJUAN

- 1.1. Menentukan nilai konstanta momen inersia secara eksperimen,
- 1.2. Menentukan perbandingan energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasi suatu benda yang bergerak menggelinding.

2. ALAT DAN BAHAN

- 2.1. Satu set papan peluncur yang diperlengkapi dengan sensor IR dan kotak antarmuka,
- 2.2. Objek benda berupa silinder dan bola,
- 2.3. Catudaya dan kabel penghubung serial,
- 2.4. PC untuk mengendalikan dan menampilkan data dari antarmuka,
- 2.5. Busur derajat untuk mengukur jarak dan menentukan sudut kemiringan papan peluncur.

3. KONSEP DASAR

Benda titik yang meluncur turun di sepanjang bidang miring yang membentuk sudut θ dengan sumbu horizontal, akan mengalami percepatan gravitasi sebesar $a = g \sin\theta$. Bila benda yang meluncur turun tersebut berupa benda tegar yang dapat berotasi, maka deskripsi gerak menjadi tidak sesederhana seperti dalam kasus benda titik. Gambar 12.1 menunjukkan sebuah benda bermassa seragam dengan massa M dan jari-jari R menggelinding tanpa slip menuruni sebuah bidang miring dengan kemiringan θ , sepanjang arah sumbu x . Persamaan percepatan benda $a_{tpm,x}$ selama menuruni bidang miring dapat diturunkan dengan menggunakan hukum Newton kedua, baik linier ($F_{net} = M \cdot a$) maupun angular ($\tau_{net} = I \cdot \alpha$). Langkah pertama

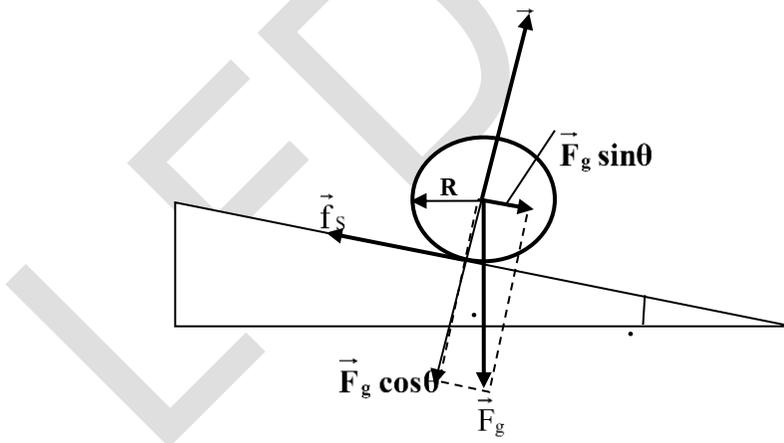
adalah menggambar gaya-gaya yang bekerja pada benda seperti digambarkan pada gambar 12.1, yaitu:

1. Gaya gravitasi yang bekerja vertikal ke arah bawah benda,
2. Gaya normal yang tegak lurus terhadap bidang miring,
3. Gaya gesek statis yang bekerja pada titik kontak dengan arah ke sejajar bidang miring ke ujung atas bidang miring

Hukum Newton kedua untuk komponen searah sumbu x pada Gambar 1 dapat dituliskan dengan persamaan:

$$f_s - Mg \sin \theta = Ma_{tpm,x} \quad (12.1)$$

Persamaan tersebut memiliki dua buah besaran yang tidak diketahui, yaitu f_s dan $a_{tpm,x}$. Dalam hal ini, tidak boleh diasumsikan bahwa nilai f_s adalah nilai maksimum ($f_{s,max}$), karena nilai f_s yang muncul akan bergantung pada kesetimbangan gaya yang terjadi saat gerak itu terjadi.



Gambar 12.1. Gerak menggelinding di atas suatu bidang miring.

Selanjutnya kita gunakan **Hukum Newton** kedua untuk benda yang berotasi terhadap sumbu yang melalui titik pusat massanya. Pertama, digunakan persamaan $\tau = rF$ untuk menentukan torsi pada titik tersebut. Gaya gesek f_s memiliki lengan gaya R sehingga menghasilkan torsi sebesar Rf_s yang bernilai negatif karena benda

akan cenderung berputar searah dengan putaran jarum jam. Gaya \vec{F}_g dan \vec{F}_N memiliki lengan gaya yang bernilai nol terhadap titik pusat massa sehingga menghasilkan torsi sama dengan nol. Dengan demikian, persamaan hukum Newton kedua untuk benda yang berotasi ($\tau_{net} = I\alpha$) terhadap titik pusat massa benda adalah:

$$Rf_s = -I_{tpm}\alpha \quad (12.2)$$

Persamaan ini juga memiliki dua besaran yang tidak diketahui, yaitu f_s dan α . Karena benda menggelinding tanpa slip, maka dapat digunakan persamaan $a_{tpm} = \alpha R$ untuk menghubungkan variabel $a_{tpm,x}$ dan α yang tidak diketahui. Perlu diperhatikan bahwa $a_{tpm,x}$ bernilai positif (benda bergerak ke arah sumbu x positif) dan α bernilai negatif (arah rotasi searah putaran jarum jam) sehingga substitusi untuk α adalah $-a_{tpm,x} / R$. Nilai ini dimasukkan ke persamaan (12.2), dan disusun ulang untuk mendapat persamaan f_s .

$$f_s = I_{tpm} \frac{a_{tpm,x}}{R^2} \quad (12.3)$$

Dengan mensubstitusikan f_s ke persamaan (12.1), maka diperoleh persamaan:

$$a_{tpm,x} = \frac{g \sin \theta}{1 + I_{tpm} / MR^2} \quad (12.4)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk menghitung percepatan $a_{tpm,x}$ pada bidang miring yang memiliki sudut θ terhadap sumbu horisontal.

4. PROSEDUR PERCOBAAN

Percobaan dilakukan dengan menggelindingkan suatu objek benda tegar di sepanjang bidang miring yang sudut kemiringannya dapat diatur. Papan peluncur dilengkapi dengan 9 pasang sensor infra merah (IR, *infrared*) yang terangkai dengan kotak antarmuka. Rangkaian elektronik dalam kotak antarmuka berfungsi untuk mengukur selang waktu yang diperlukan benda untuk melewati ke 9 pasang

sensor IR tersebut. Data selang waktu ini kemudian ditampilkan di PC untuk dapat diolah selanjutnya.

4.1. Mulai dengan mengenali program untuk mengendalikan antarmuka tersebut dari PC,

- a. Tombol "*Open*" berfungsi untuk mengaktifkan saluran komunikasi antara PC dan antarmuka,
- b. Tombol "*Reset*" berfungsi untuk mengembalikan kondisi antarmuka ke kondisi awal,
- c. Tombol "*Activate*" berfungsi untuk mengaktifkan rangkaian sensor. Perhitungan akan dimulai ($t = 0$) pada saat benda melewati pasangan sensor pertama. Setelah berhasil mengaktifkan sistem sensor, tombol ini akan berganti fungsi menjadi "*Turn Off*", yang berfungsi untuk mengembalikan antarmuka ke kondisi non-aktif,
- d. Tombol "*Check Sensors*" berfungsi untuk memastikan semua sensor berfungsi dengan baik,
- e. Tombol "*Read Data*" berfungsi untuk menampilkan set data terakhir yang berhasil diukur,
- f. Tombol "*Set Timeout*" berfungsi untuk menentukan selang waktu maksimum yang diperbolehkan untuk benda melewati sensor pertama sampai terakhir. Fungsi ini diperlukan untuk mengakhiri penghitungan waktu seandainya benda yang menggelinding tidak berhasil mencapai sensor terakhir (misalnya melenceng ke kiri atau ke kanan),
- g. Tombol "*Clear Screen*" berfungsi untuk mengosongkan tampilan pada layar respon.

4.2. Tentukan suatu posisi sebagai garis *START* pada bagian atas papan peluncur. Pertahankanlah posisi ini sebagai posisi awal dari setiap pengukuran selama eksperimen berlangsung,

4.3. Ukurlah dengan teliti, jarak antar sensor pertama, kedua, ketiga dan seterusnya terhadap sensor nol untuk menjadi data posisi x_0, x_1, x_2, \dots ,

4.4. Aturlah sudut kemiringan papan peluncur dengan menyisipkan suatu ganjal pada bagian sisi bawahnya,

- 4.5. Sesuaikanlah posisi benda yang akan diluncurkan agar sedapat mungkin bergerak sejajar dengan pembatas kiri dan kanan papan peluncur,
- 4.6. Dari posisi *START* tersebut, lepaskanlah benda untuk meluncur turun di sepanjang bidang miring. Penghitungan waktu akan dimulai pada saat benda melewati sensor pertama, dan berakhir pada saat benda melewati sensor terakhir (posisi *FINISH*). Bila eksperimen berlangsung dengan baik, seluruh penghitungan waktu akan ditampilkan pada layar respon. Bila tidak, maka tanda "Time Out" yang akan muncul. Catatlah semua data penghitungan waktu tersebut sebagai t_0, t_1, t_2, \dots ,
- 4.7. Buatlah grafik x sebagai fungsi t dan tentukanlah parameter-parameternya,
- 4.8. Ulangi eksperimen di atas untuk berbagai benda silinder dan berbagai sudut kemiringan papan peluncur sesuai tugas yang diberikan oleh asisten.

5. TUGAS ANALISIS

- 5.1. Dengan menggunakan parameter yang diperoleh secara eksperimen (waktu, sudut, dan jarak antar sensor) serta persamaan percepatan titik pusat massa, Cari nilai konstanta momen inersia dari objek yang digunakan!
- 5.2. Buat plot perbandingan energi kinetik translasi dan rotasi pada akhir gerak meluncur dengan mengasumsikan tidak terjadi slip selama proses gerak menggelinding tersebut berlangsung!
- 5.3. Bandingkan nilai konstanta momen inersia yang diperoleh secara eksperimen dengan teori yang ada. Jelaskan mengapa terdapat perbedaan nilai!
- 5.4. Mengapa grafik antara jarak (x) terhadap waktu (t) tidak memotong titik $(0,0)$? Apa yang dapat anda simpulkan dari grafik tersebut?
- 5.5. Menurut Anda bagaimana eksperimen ini dapat digunakan untuk mendeteksi saat mulai terjadinya slip pada sudut kemiringan tertentu?

6. PUSTAKA

- Resnick, Robert., Halliday, David, Krane, Kenneth S. (1992). *Physics 4th Edition Vol. 1*. John Wiley & Sons, 418 – 419.
- Tyler, F. (1970) : *A Laboratory Manual of Physics*, Edward Arnold, 19.