

III DINAMIKA PARTIKEL

Kompetensi yang ingin dicapai setelah mempelajari bab ini adalah kemampuan memahami, menganalisis dan mengaplikasikan konsep-konsep dinamika partikel pada kehidupan sehari-hari maupun pada bidang teknologi. Materi fisika yang dipelajari dalam bab ini meliputi gaya dan hukum gaya, hukum gerak yang meliputi hukum I, II, dan III Newton, gaya gravitasi, gaya pegas, gaya normal, gaya gesekan dan aplikasi hukum Newton pada gerak benda.

Setelah mengikuti perkuliahan kinematika partikel, mahasiswa dapat:

1. menjelaskan pengertian hukum I Newton
2. menjelaskan pengertian hukum II Newton
3. menjelaskan pengertian hukum III Newton
4. menjelaskan pengertian gaya gravitasi
5. menjelaskan pengertian gaya normal
6. menjelaskan pengertian gaya gesekan
7. menjelaskan pengertian gaya pegas
8. memecahkan soal-soal sederhana tentang penerapan hukum gerak Newton

3.1 Hukum-Hukum Newton Tentang Gerak

3.1.1 Hukum I Newton

Sebelum zaman Galileo, sebagian besar ahli filsafat alami (nama lama untuk fisika) meyakini bahwa agar benda tetap bergerak diperlukan suatu pengaruh luar

atau gaya. Mereka berpendapat bahwa keadaan alami semua benda di alam ini adalah diam. Jika gaya yang menyebabkan benda itu bergerak dihilangkan, lama-kelamaan benda akan berhenti. Gagasan ini kemudian diuji secara eksperimen melalui cara mendorong sebuah kotak yang mula-mula dalam keadaan diam dan akhirnya bergerak. Percobaan ini pertama kali diselidiki oleh Newton dan dinyatakan dalam hukumnya sebagai berikut:

“Setiap benda akan tetap berada pada keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali jika benda itu dipaksa untuk mengubah keadaannya oleh gaya-gaya yang dikerjakan pada benda itu.”

Dalam persamaan matematis kita dapat menyatakan hukum I Newton sebagai:

$$\sum F = 0 \tag{3.1}$$

3.1.2 Hukum II Newton

Hukum I Newton menyatakan bahwa benda akan tetap diam atau bergerak dengan kecepatan tetap jika resultan gaya yang bekerja pada benda itu sama dengan nol. Pertanyaan yang dapat muncul dari bunyi hukum I Newton tersebut adalah bagaimana jika resultan gaya yang bekerja pada benda itu tidak sama dengan nol? Dari pengamatan sehari-hari kita dapat melihat bahwa benda yang awalnya diam kemudian dikenai gaya tertentu akan bergerak dengan percepatan tertentu. Misalnya mobil mogok yang didorong oleh beberapa orang sehingga mobil itu bergerak (ingat kembali perkuliahan tentang kinematika partikel: kecepatan dan percepatan). Contoh ini memberikan gambaran bahwa jika mobil mogok didorong oleh satu orang, maka mobil itu akan bergerak dengan percepatan yang lebih lambat dibandingkan dengan bila mobil mogok itu didorong oleh lima orang (artinya, gaya yang diberikan pada mobil itu lebih besar). Pertanyaan lain yang dapat muncul adalah bagaimana jika gaya yang besarnya sama diberikan pada dua benda yang berbeda massanya? Misalnya pada mobil dan pada bola? Kita tentu

dapat mengamati bahwa percepatan yang dialami oleh bola akan lebih besar dibandingkan dengan percepatan yang dialami oleh mobil jika gaya yang diberikan pada keduanya adalah sama.

Dari kedua pertanyaan ini dan dengan melakukan percobaan, Newton menyatakan hukumnya yang kedua, yaitu:

“ Percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada sebuah benda adalah berbanding lurus dengan besar gaya itu, searah dengan gaya itu, dan berbanding terbalik dengan massa benda itu.” Dalam bentuk matematis, dapat dituliskan:

$$a = \frac{F}{m} \text{ atau}$$

$$F = m.a \tag{3.4a}$$

dengan: F = resultan gaya yang dikerjakan pada benda (satuan: N, lbf)

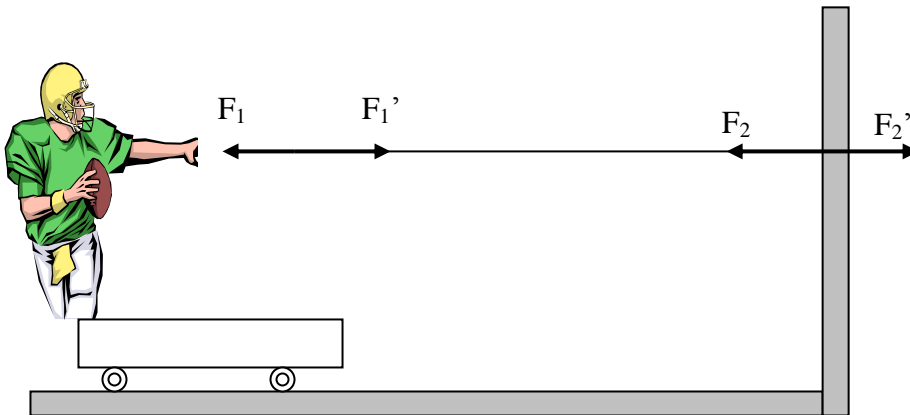
m = massa benda (sataun: kg, slug, lbm)

a = percepatan benda (satuan: m/s^2 , ft/s^2)

.

3.1.3 Hukum III Newton

Setiap gaya yang bekerja pada benda, yang dimunculkan oleh lingkungannya (benda lain), selalu muncul berpasangan. Pasangan gaya ini diakibatkan oleh saling tindak antara kedua benda. Jika benda A dikenai gaya oleh benda B, maka benda B akan mengerjakan gaya pada benda A. Pasangan gaya yang bekerja pada benda A dan B ini disebut pasangan *aksi-reaksi*. Perhatikan gambar 3.3:



Gambar 3.3. Pasangan aksi dan reaksi

Seorang anak yang berdiri di atas *skate-board* menarik tali dengan gaya F_1 ke kiri (anak dikatakan memberikan gaya aksi), tetapi dia dan *skate-board* bergerak ke kanan. Hal ini menunjukkan bahwa pada anak bekerja gaya yang arahnya berlawanan. Dari eksperimen dibuktikan bahwa besar gaya yang bekerja pada anak (disebut gaya reaksi) adalah sama dengan besar gaya yang bekerja pada tali. Dari keadaan ini Newton menyatakan hukumnya yang ketiga, yaitu:

“Apabila sebuah benda mengerjakan gaya pada benda lain (disebut aksi), maka benda yang kedua ini akan mengerjakan gaya pada benda pertama sama besar dan berlawanan arah dengan gaya pada benda pertama (disebut reaksi).”

Dalam bentuk matematis, hukum III Newton dapat dinyatakan sebagai:

$$F_{\text{aksi}} = -F_{\text{reaksi}} \quad \text{atau} \quad F_1 = -F_1' \quad (3.5)$$

dengan F_1 = gaya yang dikerjakan anak pada tali dan F_1' = gaya yang dikerjakan tali pada anak.

Dari gambar 3.3 terlihat penggambaran vektor gaya F_2 dan F_2' . Besar dan arah gaya F_2 adalah sama dengan besar dan arah gaya F_1 . Ini disebabkan karena tali dianggap tidak bermassa, sehingga peranan tali adalah untuk meneruskan gaya F_1 . *Gaya sepanjang tali yang sama selalu sama besar*, demikian juga jika tali dioblokkan oleh katrol licin dan atau massanya diabaikan.

Tiga sifat yang perlu diperhatikan dalam pasangan gaya aksi-reaksi adalah:

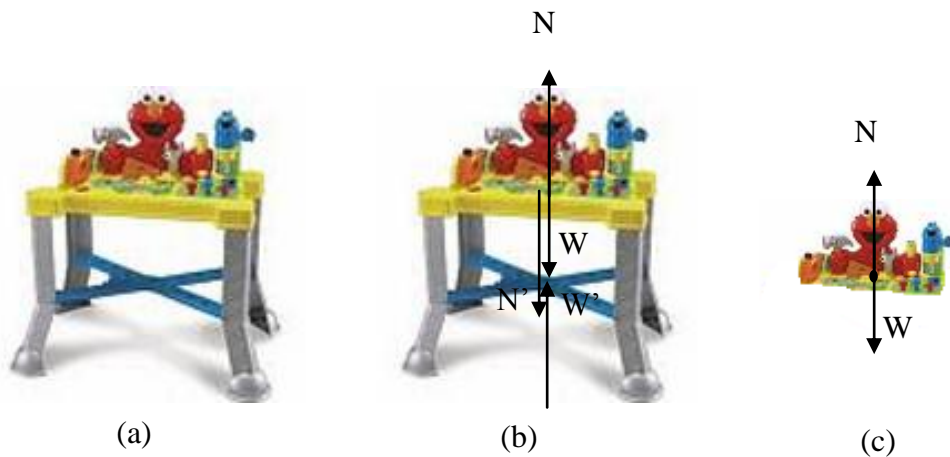
- (1) Pasangan aksi dan reaksi selalu bekerja pada dua benda yang berlainan,
- (2) Besar gaya aksi = besar gaya reaksi, dan
- (3) arahnya berlawanan.

Contoh yang pertama untuk pasangan aksi dan reaksi adalah benda mainan anak yang terletak di atas meja. Lingkungan untuk benda adalah meja dan bumi. Meja mengerjakan gaya normal pada benda sebesar N dan sebagai reaksinya benda mengerjakan gaya pada meja sebesar N' . Bumi juga mengerjakan gaya berat pada benda sebesar W dan sebagai reaksinya benda menarik bumi sebesar W' . Menurut hukum I Newton, jika benda dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, maka resultan gaya yang bekerja pada benda adalah nol. Untuk keadaan benda yang terketak di atas meja, dapat dilihat bahwa resultan gaya pada arah sumbu y adalah nol.

$$\Sigma F_y = 0, \text{ atau}$$

$$N - W = 0, \text{ atau}$$

besar N sama dengan besar W . Walaupun besar N sama dengan besar W dan arahnya berlawanan, N dan W bukanlah pasangan aksi-reaksi, sebab N dan W bekerja pada benda yang sama.



Gambar 3.5 (a) benda di atas meja, (b) pasangan aksi-reaksi,
(c) diagram benda bebas untuk benda (img2.time.inc.net)

3.2 Jenis-Jenis Gaya

3.2.1 Gaya Gravitasi

Selain ketiga hukumnya tentang gerak, Newton mengemukakan hukumnya yang lain mengenai gravitasi universal, yaitu: "gaya di antara sembarang dua partikel yang mempunyai massa m_1 dan m_2 yang dipisahkan oleh jarak r adalah suatu tarikan yang bekerja sepanjang garis yang menghubungkan partikel-partikel tersebut dan yang besarnya adalah:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.6)$$

dengan F adalah gaya gravitasi (tarik-menarik) pada masing-masing partikel, dan G adalah konstanta gravitasi universal.

Benda yang dilemparkan ke atas, akhirnya akan kembali lagi ke bawah menuju permukaan bumi karena mendapatkan gaya tarik gravitasi bumi. Menurut hukum II Newton, setiap benda yang mendapatkan gaya F akan mengalami percepatan a sesuai dengan rumus,

$$F = ma$$

Khusus untuk kejadian benda jatuh ke bumi, percepatan yang dialami benda adalah percepatan gravitasi bumi dan gaya yang bekerja pada benda adalah gaya gravitasi bumi (berat benda itu sendiri), atau

$$W = mg \quad (3.8)$$

Karena $F = W$, maka kita dapat mencari besar percepatan gravitasi bumi dari persamaan (3.7) dan (3.8), sehingga:

$$g = G \frac{M_b}{R^2} \quad (3.9)$$

dengan $M_b =$ massa bumi $= 5,89 \times 10^{24}$ kg

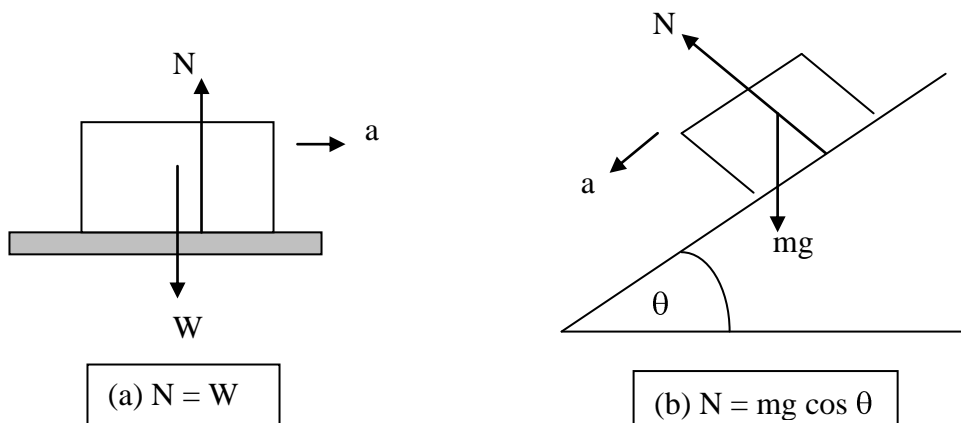
$R =$ jarak antara benda dengan pusat bumi ($R_{\text{bumi}} = 6,378 \times 10^6$ m)

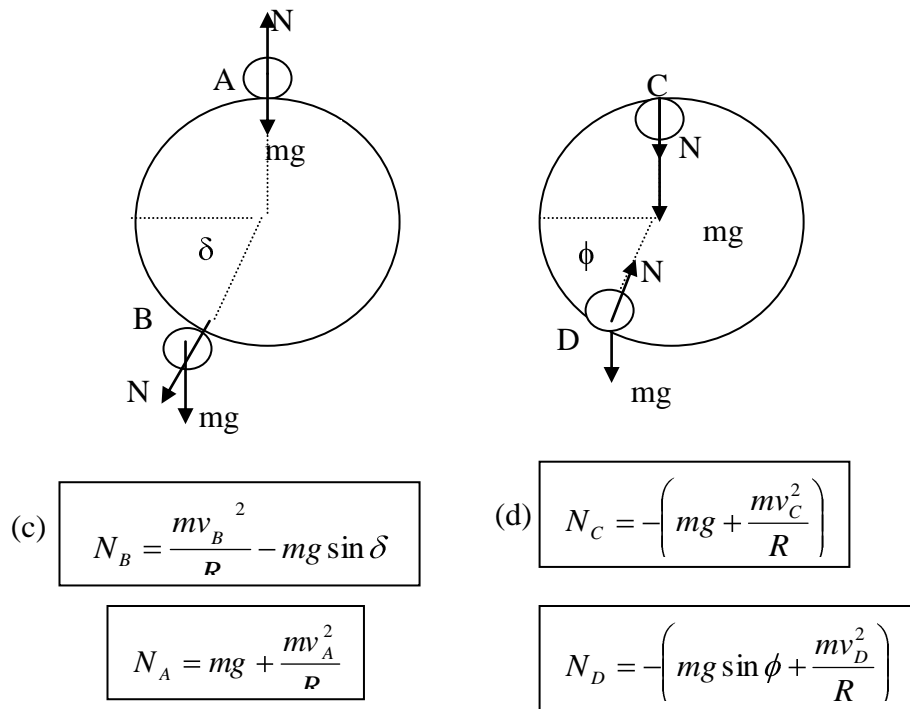
$g =$ percepatan gravitasi bumi

Dari persamaan 3.9 kita dapat melihat bahwa besar percepatan gravitasi bumi adalah berbanding terbalik terhadap ketinggian benda dari pusat bumi. Semakin jauh benda dari pusat bumi, gaya gravitasi yang dialaminya akan semakin kecil. Percepatan gravitasi bumi tepat di atas permukaan bumi ($r = R$) adalah sebesar 9.809 m/s^2 .

3.2.2 Gaya Normal

Gaya normal atau gaya pembeban (*loading force*) selalu timbul jika dua buah benda bersinggungan. Gaya normal adalah gaya yang dilakukan oleh benda yang satu pada benda lainnya dalam arah tegak lurus pada bidang antarmuka keduanya. Gaya ini muncul sebagai akibat perubahan bentuk elastik benda-benda yang bersinggungan. Besar gaya normal tidak sama untuk setiap keadaan benda, tetapi bergantung pada posisi dan keadaan gerak benda. Pada gambar 3.8 diberikan beberapa contoh gaya normal dan besarnya.





Gambar 3.8 Gaya normal untuk berbagai keadaan benda

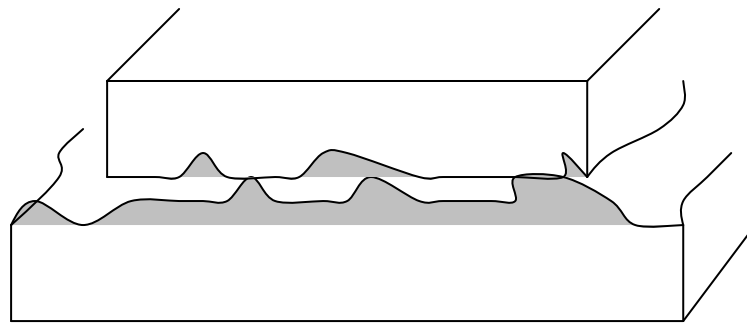
- (a) benda terletak di atas bidang datar dan sedang bergerak dengan percepatan a
- (b) benda terletak di atas bidang miring dan sedang bergerak dengan percepatan a
- (c) benda bergerak melingkar di sisi luar sebuah lingkaran
- (d) benda bergerak melingkar di sisi dalam sebuah lingkaran

3.2.3 Gaya Gesekan

Gaya gesekan adalah gaya yang menghambat gerak benda. Sesungguhnya jika permukaan suatu benda bergeseran dengan permukaan benda lain, maka masing-masing benda akan melakukan gaya gesekan satu terhadap lainnya. Gaya gesekan pada masing-masing benda berlawanan arah dengan dengan gerak relatifnya terhadap benda lain.

Salah satu sebab terjadinya gaya gesekan ialah kurang rataanya permukaan-permukaan benda yang bersentuhan. Gambar di bawah ini memperlihatkan

keadaan dua permukaan yang bersentuhan jika dilihat melalui mikroskop. Jika kedua permukaan itu bergeseran, tentulah “bukit” dan “lembah” itu yang menghambat gerakan permukaan, yang disebut gesekan. Makin kasar permukaan, makin besar gesekan.



Gambar 3.9 Gaya gesekan antara dua permukaan benda

Faktor lain yang sering disebut sebagai penyebab timbulnya gaya gesekan adalah gaya tarik menarik antara permukaan-permukaan yang bergeseran (*adhesi*). Gaya tarik ini bergantung pada jenis bahan benda yang bersentuhan.

Besar gaya gesekan bergantung juga pada keadaan gerak benda. Jika benda masih diam, sedangkan gaya luar sudah bekerja pada benda itu, dikatakan bahwa gaya gesekan pada benda lebih besar dibandingkan dengan gaya gesekan pada benda ketika benda sudah bergerak. Besar gaya gesekan :

Dalam keadaan diam sesuai dengan:

$$f_s = \mu_s \cdot N \quad (3.10)$$

μ_s disebut sebagai koefisien gesekan statik antara dua permukaan yang bergesekan itu. μ_s ternyata juga sangat tergantung pada sifat dua permukaan tersebut. Makin kasar permukaan, makin besar μ_s .

Gaya gesekan ketika benda bergerak disebut gaya gesek kinetik, dan besarnya adalah:

$$f_k = \mu_k \cdot N \quad (3.11)$$

dengan μ_k = koefisien gesekan kinetik. Baik μ_k maupun μ_s harganya selalu terletak antara 0 dan 1, tetapi selalu bahwa $\mu_k < \mu_s$. Koefisien gesek statik dan kinetik sangat bervariasi untuk bahan-bahan yang berbeda dan untuk kondisi-kondisi yang berbeda pada permukaannya. Tabel 3.2 memberikan daftar harga-harga pendekatan dari koefisien gesek untuk berbagai bahan.

3.3.4 Gaya Pegas

Pegas banyak diterapkan dalam konstruksi dan instrumen. Sifat pegas yang terpenting adalah kemampuannya untuk menerima usaha dari sebuah benda (pembahasan mendalam tentang usaha akan diuraikan pada bab IV) ketika pegas itu tertekan dan menyerahkan kembali usaha kepada benda itu ketika pegas mengendur. Pada bagian 3.2.2 tentang hukum II Newton telah ditunjukkan sebuah percobaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya dan percepatan. Gaya yang bekerja pada pegas akibat tarikan gaya luar sebanding dengan besarnya pertambahan panjang pegas. Semakin kuat pegas ditarik semakin besar pertambahan panjang pegas, maka semakin besar pula gaya yang bekerja pada pegas itu. Secara matematis, hubungan yang seperti itu dapat dituliskan sebagai:

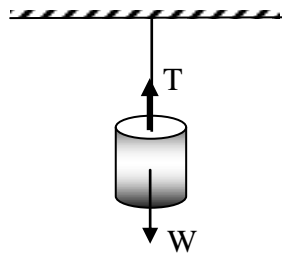
$$F = k\Delta x \quad (3.12a)$$

Dengan k = konstanta pegas (N/m)

Δx = pertambahan panjang pegas (m)

3.3.5 Gaya tegang tali

Contoh kasus untuk memahami gaya tegang tali adalah seorang anggota tim SAR yang digantung melalui kawat baja pada sebuah helikopter untuk menolong korban bencana alam. Contoh lain adalah sebuah lampu kristal yang digantung di bawah langit-langit ruang tamu melalui sebuah kabel listrik. Kawat baja maupun kabel listrik itu haruslah memiliki kekuatan bahan minimal sama dengan berat benda yang digantungnya. Pembahasan mengenai kekuatan bahan ini akan dilakukan pada bab VII (elastisitas), tentang modulus elastisitas (modulus Young).



Gambar 3.15 Gaya tegang tali

Perhatikan sebuah benda yang digantung melalui seutas tali seperti ditunjukkan pada gambar 3.15! Benda dalam keadaan diam, dan pada benda pastilah bekerja gaya berat (W) yang arahnya selalu menuju pusat bumi. Hukum Newton I menyatakan bahwa resultan yang bekerja pada benda sama dengan nol, sehingga pada benda tersebut bekerja gaya lain yang arahnya berlawanan dengan arah gaya berat. Gaya lain tersebut berasal dari tali dan arahnya menjauhi benda yang kita tinjau dan disebut sebagai gaya tegang tali (T).

Yang perlu diperhatikan mengenai **gaya tegang tali adalah bahwa gaya ini selalu menjauhi benda yang kita tinjau**, tak peduli apakah tali yang menarik benda itu berada dalam keadaan vertikal, horizontal, maupun miring dengan sudut tertentu. Kasus pada gambar (3.15) menunjukkan bahwa $T = W$ (sesuai dengan

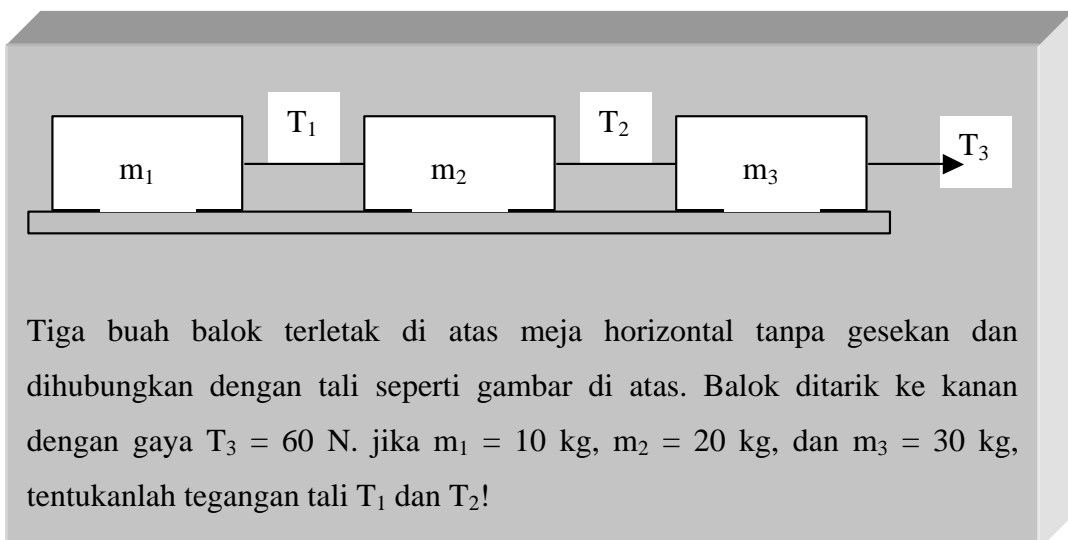
hukum Newton I), tetapi kasus lainnya perlu ditinjau sesuai dengan keadaan gerak benda.

3.4 Beberapa Contoh Pemakaian Hukum-Hukum Newton

Hukum Newton banyak digunakan dalam persoalan mekanika, dengan anggapan bahwa gaya pada benda bekerja pada satu titik. Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk memecahkan persoalan mekanika adalah:

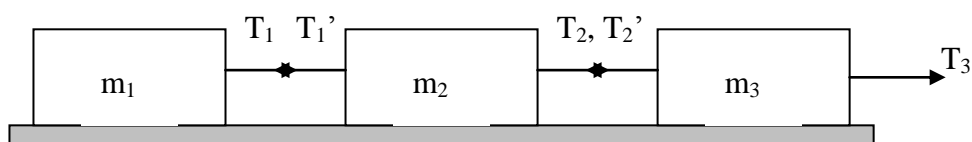
- tentukan benda yang dikenai gaya;
- tentukan seluruh gaya yang bekerja pada benda. Buatlah sebuah gambar terpisah yang hanya menunjukkan benda yang kita tinjau dan gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut. Gambar ini disebut “diagram gaya-benda bebas”;
- tentukan sumbu koordinat yang mempermudah penyelesaian soal;
- gunakan hukum Newton yang sesuai.

3.4.1 Benda pada Bidang Datar Horizontal



Penyelesaian:

Gambarkan gaya-gaya pada benda!



T_3 menarik tiga buah balok sehingga menimbulkan percepatan:

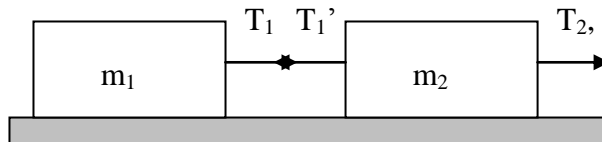
$$\sum F = \sum m.a$$

$$T_3 - T_2' + T_2 - T_1' + T_1 = (m_1 + m_2 + m_3) a$$

Karena $T_1 = T_1'$ dan $T_2 = T_2'$, maka:

$$a = \frac{T_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{60}{60} = 1 \frac{m}{s^2}$$

Untuk mendapatkan besar gaya T_1 dan T_2 , tinjau benda 1 dan benda 2:



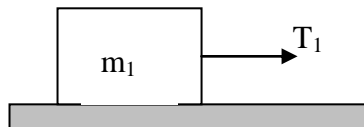
T_2 menarik m_1 dan m_2 dengan percepatan yang sama dengan percepatan yang ditimbulkan oleh T_1 :

$$\sum F = \sum m.a$$

$$T_2 - T_1' + T_1 = (m_1 + m_2) a$$

$$T_2 = (10+20).1 = 30 \text{ N}$$

Kemudian tinjau benda 1:



T_1 hanya menarik benda 1, sehingga menurut hukum II Newton,

$$\sum F = \sum m.a$$

$$T_1 = m_1 a = 10 \cdot 1 = 10 \text{ N}$$

3.4.2 Benda pada Bidang Miring

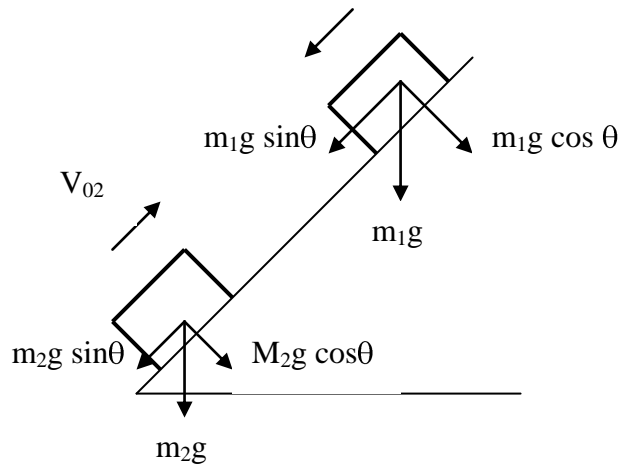
Sebuah balok dilepaskan dari keadaan diam di puncak bidang miring licin yang panjangnya 16 m. Balok mencapai dasar 4 detik kemudian. Pada saat balok itu dilepaskan, sebuah balok lain ditembakkan dari dasar ke atas bidang miring

sehingga balok kedua itu tiba kembali di dasar bidang miring bersama-sama dengan balok pertama.

- (a) tentukan percepatan masing-masing balok!
- (b) berapa kecepatan awal balok kedua?
- (c) berapa jauh ke atas bidang miring jarak yang ditempuh oleh balok kedua?
- (d) berapakah sudut bidang miring terhadap horizontal?

Penyelesaian:

- (a). Gambarkan gaya-gaya yang bekerja pada benda



Gunakan persamaan GLBB pada benda 1:

$$s_t = v_{ot} + \frac{1}{2} a_1 t^2$$

$$16 = 0 + \frac{1}{2} a_1 4^2$$

$$a_1 = 2 \text{ m/s}^2$$

Gunakan hukum Newton II pada benda 2:

$$\sum F_2 = m_2 \cdot a_2$$

$$-m_2 g \sin \theta = m_2 \cdot a_2$$

$$a_2 = -g \sin \theta \dots\dots\dots (1)$$

Untuk mendapatkan $g \sin \theta$, gunakan hukum II Newton pada benda 1

$$\sum F_1 = m_1 \cdot a_1$$

$$m_1 g \sin \theta = m_1 \cdot a_1$$

$$g \sin \theta = 2 \text{ m/s}^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Gunakan harga ini pada persamaan (1)

$$a_2 = -g \sin \theta = -2 \text{ m/s}^2$$

Terlihat bahwa percepatan bidang miring hanya dipengaruhi oleh g dan θ

(b) Pada titik tertinggi yang dicapai balok 2, $V_t = 0$. Karena balok kedua memerlukan waktu 4 detik untuk naik dan turun lagi, maka waktu untuk naik adalah 2 detik:

$$v_t = v_o + at$$

$$0 = v_o + (-2)2$$

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

(C) untuk mencari jarak ke atas bidang miring, dapat kita cari dengan:

$$s_t = v_{ot} + \frac{1}{2}at^2$$

$$s_t = 4.2 + \frac{1}{2}(-2).2^2 = 4 \text{ m}$$

sudut bidang miring diperoleh dari persamaan (2)

$$g \sin \theta = 2 \text{ m/s}^2$$

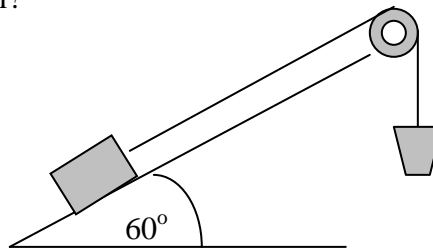
$$\text{atau,} \quad \sin \theta = 2/10 = 0,5, \quad \theta = 30^\circ$$

Latihan soal:

- 3.1. Seseorang bermassa 80 kg melakukan terjun payung dengan menggunakan payung bermassa 5 kg. Ia mengalami percepatan ke bawah $2,5 \text{ m/s}^2$ (a) berapakah gaya ke atas oleh udara pada payung, (b) berapakah gaya ke bawah pada payung oleh orang?
- 3.2. Sebuah balok yang massanya 2 kg diluncurkan ke atas bidang miring 30° dengan kecepatan awal 22 m/s. Koefisien gesekan antara balok dan bidang miring itu 0,3. (a) Tentukan gaya gesekan yang bekerja pada balok ketika

balok itu bergerak ke atas! (b) Berapa lama balok itu bergerak naik? (c) Berapa jauh balok itu bergerak naik?

- 3.3 Sebuah balok bermassa 30 slugs terletak di atas suatu bidang miring licin yang membentuk sudut 30° . Balok ini dihubungkan oleh seutas tali melalui katrol kecil tanpa gesekan dengan balok kedua yang bermassa 2 slugs dan tergantung vertikal. (a) berapakah percepatan masing-masing balok, (b) berapakah tegangan pada tali?



- 3.4 Sebuah papan bermassa 40 kg diam di atas lantai licin. Di atas papan tersebut diletakkan sebuah balok lain bermassa 10 kg. Koefisien gesekan statik antara balok dan papan adalah 0,6 dan koefisien gesekan kinetiknya 0,4. Balok 10 kg tersebut dikenai gaya horizontal 100 N. Berapakah percepatan yang dialami oleh (a) balok (b) papan?

Jawab: (a) $6,1 \text{ m/s}^2$ (b) $0,98 \text{ m/s}^2$

- 3.5 Seorang siswa ingin menentukan koefisien gesek statik dan kinetik antara sebuah kotak dengan sebuah papan. Ia meletakkan kotak itu di atas papan dan sedikit demi sedikit menambah kemiringan papan. Ketika sudut miringnya 30° , kotak mulai bergerak dan meluncur turun sejauh 4 m dalam waktu 4 s. Berapakah harga kedua macam koefisien gesekan tersebut?