

DINAMIKA GERAK LURUS

Mekanika klasik atau mekanika Newton adalah teori tentang gerak yang didasarkan pada konsep **massa dan gaya** dan hukum-hukum yang menghubungkan konsep-konsep fisis ini dengan besaran kinematika seperti **perpindahan, kecepatan, dan percepatan**, yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Semua gejala alam dalam mekanika klasik dapat digambarkan dengan menggunakan hanya 3 hukum sederhana yang dinamakan hukum Newton tentang gerak. Hukum Newton menghubungkan percepatan sebuah benda dengan massanya dan gaya-gaya yang bekerja padanya. Pada bab ini kita akan mengkaji tiap hukum Newton secara rinci, dan kita akan **mendefinisikan konsep gaya dan massa** secara tepat. Kita akan melihat bagaimana hukum Newton dapat digunakan pada persoalan yang sederhana dimana sebuah benda dipengaruhi oleh **gaya-gaya yang besarnya konstan**. Kita tidak akan membahas penerapan hukum Newton yang lebih umum.

Versi modern hukum Newton adalah sebagai berikut :

Hukum I : Sebuah benda tetap pada keadaan awalnya yang diam atau bergerak dengan kecepatan sama kecuali ia dipengaruhi oleh suatu gaya tidak seimbang, atau gaya eksternal netto. (**gaya netto** yang bekerja pada sebuah benda, juga dinamakan **gaya resultan**, adalah jumlah vektor semua gaya yang bekerja padanya :

$$\vec{F}_{netto} = \sum \vec{F}$$

Hukum II : **Percepatan** sebuah benda berbanding terbalik dengan **massanya** dan sebanding dengan **gaya eksternal netto** yang bekerja padanya :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{netto}}{m} \text{ atau } \vec{F}_{netto} = m\vec{a}$$

Hukum III : Gaya-gaya selalu terjadi **berpasangan**. Jika benda A memberikan gaya pada benda B, gaya yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan diberikan oleh benda B pada benda A.

atau bergerak dengan kecepatan konstan akan tetap diam atau akan terus bergerak dengan kecepatan konstan kecuali ada gaya eksternal yang bekerja pada benda itu. Kecenderungan ini digambarkan dengan mengatakan bahwa benda mempunyai

kelembaman . Sehubungan dengan itu , hukum pertama Newton seringkali dinamakan ***hukum kelembaman*** .

Sebelum Galileo, pada umumnya dipikirkan bahwa gaya, seperti dorongan atau tarikan, diperlukan untuk mempertahankan benda agar terus bergerak dengan kecepatan konstan. Dalam pengalaman sehari-hari, jika sebuah buku didorong di atas sebuah meja kemudian dibiarkan, buku akan meluncur untuk beberapa saat kemudian berhenti. Galileo, dan kemudian Newton, mengakui bahwa dalam keadaan semacam itu buku itu tidak bebas dari gaya eksternal karena adanya gesekan. Jika kita memperluas permukaan meja, buku meluncur lebih jauh, dan berkurangnya kecepatan dalam suatu waktu tertentu lebih kecil. Jika kita topang buku itu pada bantalan udara yang tipis, buku akan meluncur untuk waktu dan jarak yang jauh dengan hampir tanpa perubahan nyata dalam kecepatannya.

Galileo mempelajari gerakan dengan melakukan eksperimen dimana ia menggelindingkan bola naik dan turun bidang-bidang miring. Ia menemukan, misalnya, bahwa jika bola digelindingkan menuruni bidang miring, kelajuannya bertambah dengan jumlah yang sama dalam waktu yang sama. Gambar berikut ini menunjukkan sebuah bola menggelinding menuruni sebuah bidang miring dan naik bidang lain :

Gambar 1 : Eksperimen Galileo dengan bola yang menggelinding turun naik bidang miring. Bola menggelinding naik bidang miring kedua samapai hampir ketinggian asalnya, tak peduli berapapun sudut kemiringannya. Bila sudut kemiringannya diperkecil, bola menggelinding naik jauh

Bola menggelinding naik bidang miring kedua sampai hampir ketinggian yang sama ketika ia mulai, tanpa peduli kemiringan masing-masing bidang miring. Karena kemiringan bidang miring kedua dikurangi, bola menggelinding semakin jauh. Galileo menerangkan bahwa, jika ia dapat mengeliminasi pengaruh gesekan, sebuah bola yang menggelinding pada bidang horizontal akan menggelinding selamanya tanpa perubahan kelajuan. Newton menyatakan hasil ini sebagai hukumnya yang pertama.

Perhatikan bahwa hukum pertama Newton ***tidak membuat perbedaan*** antara benda **diam** dan benda ***bergerak dengan kecepatan konstan***. Pertanyaan tentang apakah sebuah benda sedang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan bergantung pada kerangka acuan dimana benda itu diamati.

Tinjaulah sebuah buku yang diam di atas ‘meja udara’ (air table) dalam sebuah gerbong barang kereta api. Dalam sistem koordinat yang titik asalnya O' dikaitkan dengan gerbong (gambar 2), buku itu dalam keadaan diam.

Gambar 2 : Sebuah buku diam pada meja udara dalam sebuah gerbong di kerangka S'

Sistem koordinat itu menetapkan suatu kerangka acuan untuk mengukur posisi, kecepatan, dan percepatan buku. Kita akan menamakan kerangka acuan yang dikaitkan pada gerbong S' . Andaikan sekarang gerbong bergerak sepanjang rel ke kanan dengan kelajuan v . Buku diletakkan pada meja udara sehingga buku juga diam relatif terhadap gerbong. Kelajuan gerbong adalah v diukur relatif terhadap sistem koordinat yang kedua yang titik asalnya O dikaitkan terhadap rel. Dalam kerangka acuan rel, yang akan kita namakan S , buku bergerak ke kanan dengan kelajuan v (Gambar 3).

Gambar 3 : Buku bergerak dengan kelajuan gerbong V relatif terhadap kerangka S

Menurut hukum pertama Newton, buku akan terus bergerak dengan kecepatan konstan dalam kerangka acuan S atau akan tetap diam dalam kerangka acuan S' kecuali ia dipengaruhi suatu gaya netto.

Hukum Newton tidak berlaku dalam semua kerangka acuan. Andaikan kerangka acuan S' dikaitkan pada sebuah gerbong yang dipercepat sepanjang rel dengan percepatan relatif a terhadap rel. Misalkan gerbong mulai dari diam pada $t=0$ dan pada saat itu kita letakkan sebuah buku di meja udara dalam gerbong. Buku akan tetap diam relatif terhadap rel, tetapi ia akan dipercepat ke belakang dengan percepatan $-a$ relatif terhadap gerbong. Jadi relatif terhadap gerbong, buku mempunyai percepatan horizontal tanpa adanya gaya horizontal. Jadi buku harus tetap diam relatif terhadap gerbong, gaya horizontal harus bekerja pada buku. Hukum Newton pertama tidak berlaku dalam kerangka acuan ini (Gambar 4).

Gambar 4 : Sebuah gaya horizontal bekerja pada buku lewat pegas yang dihubungkan pada buku untuk memberikan buku itu suatu percepatan a relatif terhadap kerangka S . Relatif terhadap kerangka S' yang terkait pada gerbong, buku berada dalam keadaan diam walaupun terdapat gaya netto yang bekerja padanya. Hukum Newton tidak berlaku dalam kerangka acuan S' yang dipercepat.

Sebuah kerangka acuan dimana hukum pertama Newton berlaku dinamakan kerangka acuan inersial. Tiap kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan konstan relatif terhadap suatu kerangka acuan inersial adalah juga kerangka acuan inersial. Suatu kerangka acuan yang terikat pada permukaan bumi sebenarnya bukan kerangka acuan inersial karena percepatan kecil permukaan bumi (relatif terhadap pusat bumi) yang disebabkan rotasi bumi, dan karena percepatan sentripetal yang kecil dari bumi itu sendiri sehubungan dengan peredarannya mengelilingi matahari. Namun percepatan-percepatan ini berorde $0,01 \text{ m/s}^2$ atau kurang, sehingga dalam pendekatan yang baik, kerangka acuan yang terikat pada permukaan bumi adalah kerangka acuan inersial.

Gaya, massa, dan Hukum Kedua Newton

Hukum pertama dan kedua Newton dapat dianggap sebagai definisi ***gaya***. *Gaya adalah suatu pengaruh pada sebuah benda yang menyebabkan benda mengubah kecepatannya, artinya, dipercepat.* Arah gaya adalah arah percepatan yang disebabkan jika gaya itu adalah satu-satunya gaya yang bekerja pada benda tersebut. Besarnya gaya adalah hasil kali massa benda dan besarnya percepatan yang dihasilkan gaya. Definisi gaya ini sesuai dengan konsep intuitif kita tentang gaya sebagai suatu dorongan atau tarikan seperti yang dilakukan oleh otot kita. Secara eksperimen telah ditemukan jika dua atau lebih gaya bekerja pada benda yang sama, percepatan benda adalah sama seperti jika benda dikenai gaya tunggal yang sama dengan penjumlahan vektor gaya-gaya itu sendiri. Artinya gaya dijumlahkan sebagai vektor-vektor.

Massa adalah *sifat intrinsik sebuah benda yang mengukur resistansinya terhadap percepatan.* Rasio dua massa dapat didefinisikan sebagai berikut. Jika gaya F dikerjakan pada sebuah benda bermassa m_1 , dan menghasilkan percepatan a_1 , maka:

$$F = m_1 a_1$$

Jika gaya yang sama dikerjakan pada benda kedua yang massanya m_2 , dan menghasilkan percepatan a_2 , maka :

$$F = m_2 a_2$$

Dengan menggabungkan persamaan-persamaan ini, kita dapatkan :

$$\boxed{\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2}}$$

Jadi, rasio massa dua benda didefinisikan dengan menerapkan gaya yang sama pada masing-masing benda dan membandingkan percepatannya. Definisi ini sesuai dengan konsep intuitif kita tentang massa. Sebagai contoh, jika sebuah benda lebih “masif” dibanding benda lainnya sesuai dengan penggunaan istilah kita sehari-hari, kita akan mendapatkan bahwa sebuah gaya menghasilkan percepatan yang lebih kecil pada benda yang lebih masif.

Secara eksperimen, kita dapatkan bahwa rasio percepatan a_2/a_1 yang dihasilkan oleh gaya yang sama yang bekerja pada dua benda tidak bergantung pada besar maupun arah gaya. Rasio inipun tak bergantung pada jenis gaya yang digunakan, artinya, tidak peduli apakah gaya tersebut disebabkan pegas, gaya tarik gravitasi, gaya tarik atau gaya tolak listrik atau magnet, dan seterusnya. Kita juga mendapatkan bahwa jika massa m_2 ternyata dua kali massa m_1 lewat perbandingan langsung dan jika massa m_3 didapatkan 4 kali massa m_1 , maka m_3 akan menjadi dua kali massa m_2 jika kedua massa itu dibandingkan secara langsung.

Karena itu kita dapat membentuk suatu skala massa dengan memilih satu benda tertentu sebagai standar dan menetapkan sebagai massa 1 satuan. Benda standar internasional adalah sebuah silinder campuran platinum yang disimpan di International Bureau of Weights and Measures di Sevres, Perancis. Massa benda standar itu adalah 1 kilogram, yaitu satuan SI untuk massa. Benda standar dapat digunakan untuk menghasilkan standar kedua dengan perbandingan langsung, dan massa tiap benda lain kemudian dapat dicari dengan membandingkan percepatan yang terjadi padanya oleh gaya yang tertentu dengan percepatan yang dihasilkan pada standar kedua itu. Massa sebuah benda merupakan sifat instrinsik benda yang tidak bergantung pada lokasi benda. Artinya, massa sebuah benda tetap sama apakah benda itu di bumi, di bulan, atau di angkasa luar.

Gaya yang diperlukan untuk menghasilkan percepatan 1 m/s^2 pada benda standar didefinisikan sebagai **1 newton (N)**. Dengan cara sama, gaya yang menghasilkan percepatan 2 m/s^2 benda standar itu didefinisikan sebagai 2 N.

Sampai disini kita telah mendefinisikan konsep gaya dan massa sehingga hukum kedua Newton segera muncul dari definisi-definisi itu :

$$\boxed{\vec{F}_{netto} = m\vec{a}} \quad \text{Hukum Newton kedua} \quad 1-2$$

Hukum kedua Newton menetapkan hubungan antara besaran dinamika (gaya dan massa) dengan besaran kinematika (percepatan, kecepatan, dan perpindahan). Hal ini bermanfaat karena memungkinkan kita menggambarkan aneka gejala fisika yang luas dengan menggunakan hanya sedikit hukum gaya yang relatif mudah. Sebagai contoh, dengan tambahan hukum tarikan gravitasi Newton antara dua benda, kita dapat menggambarkan gejala seperti gerakan bulan, lintasan planet mengelilingi matahari, lintasan satelit buatan, variasi percepatan gravitasi g dengan ketinggian dan garis lintang, variasi percepatan gravitasi karena adanya kandungan mineral, dan lintasan peluru kendali.

Pertanyaan :

1. Jika sebuah benda tak mempunyai percepatan, dapatkah anda menyimpulkan bahwa tidak ada gaya yang bekerja pada benda itu ?
2. Jika hanya satu gaya yang bekerja pada benda, apakah benda mengalami percepatan ? Apakah benda itu pernah mempunyai kecepatan nol ?
3. Apakah ada gaya tak seimbang yang bekerja jika (a) sebuah benda bergerak dengan kelajuan konstan dalam lingkaran (b) sebuah benda yang bergerak dalam garis yang lurus diperlambat (c) sebuah benda bergerak dengan kelajuan konstan dalam garis lurus ?
4. Apakah mungkin sebuah benda mengelilingi sebuah kurva tanpa ada gaya apapun yang bekerja padanya ?

5. Jika sebuah gaya tunggal diketahui bekerja pada sebuah benda, apakah anda dapat mengatakan dalam arah mana benda akan bergerak dari informasi ini saja?
6. Jika beberapa gaya dengan besar dan arah berbeda dikerjakan pada sebuah benda yang mula-mula diam, bagaimana anda dapat memperkirakan arah geraknya?
7. Apakah anda dapat menduga massa sebuah benda dari ukurannya ? Jika A dua kali lebih besar dari B, apakah itu berarti bahwa $m_A = 2m_B$?
8. Apakah massa sebuah benda dapat negatif ?

Gaya Karena adanya Gravitasi : Berat

Gaya yang paling umum dalam pengalaman kita sehari-hari adalah gaya tarikan gravitasi bumi pada sebuah benda. Gaya ini dinamakan **berat benda W** . Jika kita menjatuhkan sebuah benda dekat permukaan bumi dan mengabaikan resistansi udara sehingga satu-satunya gaya yang bekerja pada benda itu adalah gaya karena gravitasi (keadaan ini dinamakan ***jatuh bebas***), benda dipercepat ke bumi dengan percepatan $9,81 \text{ m/s}^2$. Pada tiap titik di ruang, percepatan ini sama untuk semua benda, tak bergantung pada massanya. Kita namakan nilai percepatan ini **g** . Dari hukum kedua Newton, Kita dapat menulis gaya gravitasi **F_g** pada benda bermassa **m** sebagai :

$$F_g = m a$$

Dengan menggunakan **$a = g$** dan menulis **W** untuk gaya gravitasi, kita dapatkan :

$$W = m g \tag{1-3}$$

Karena **g** sama untuk semua benda di suatu titik, kita dapat menyimpulkan bahwa berat benda sebanding dengan massanya. Vektor **g** dalam persamaan (1-3) adalah gaya persatuan massa yang dilakukan bumi pada setiap benda dan dinamakan ***medan gravitasi*** bumi (mengenai medan gravitasi akan dibahas secara khusus kemudian). Percepatan ini sama dengan percepatan jatuh bebas yang dialami sebuah benda jika satu-satunya gaya yang bekerja padanya adalah gaya gravitasi bumi. Di dekat permukaan bumi **g** mempunyai nilai :

$$g = 9,81 \text{ N/kg} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Pengukuran g yang teliti di berbagai tempat menunjukkan bahwa g tidak mempunyai nilai yang sama di mana-mana. ***Gaya tarikan bumi terhadap benda berubah terhadap lokasi***. Secara khusus, di titik-titik di atas permukaan bumi, gaya karena gravitasi berubah secara terbalik dengan kuadrat jarak benda dari pusat bumi. Jadi, sebuah benda memiliki berat sedikit lebih kecil pada ketinggian yang sangat tinggi dibandingkan pada ketinggian laut. Medan gravitasi juga sedikit berubah dengan garis lintang karena bumi tidak tepat bulat tetapi agak datar di kutub-kutubnya. Jadi, ***berat tidak seperti massa, bukan sifat intrinsik benda; artinya berat bukan sifat benda itu sendiri***.

Walaupun berat sebuah benda berbeda dari tempat ke tempat karena perubahan dalam g , perbedaan ini terlampau kecil untuk dapat dicatat dalam kebanyakan terapan praktis. Jadi, dalam pengalaman kita sehari-hari, berat sebuah benda tampak sebagai karakteristik benda yang konstan seperti massanya.

Di dekat permukaan bulan, tarikan gravitasi bumi pada sebuah benda jauh lebih kecil dibandingkan tarikan bulan. Gaya yang dikerjakan bulan pada benda biasanya dinamakan berat benda ketika benda dekat bulan. Catat sekali lagi bahwa massa benda adalah sama baik bila benda ada di bumi, di bulan, atau entah dimana pun di ruang. Massa adalah sifat benda itu sendiri, sedangkan berat bergantung pada hakekat dan jarak benda-benda lain yang mengerjakan gaya-gaya gravitasional pada benda itu. Sebuah contoh akan membantu menjelaskan perbedaan antara massa dan berat. Andaikan anda membawa sebuah bola berat misalnya bola gelinding ke bulan. Karena berat bola di bulan hanya seperenam beratnya di bumi, mengangkat bola itu jauh lebih mudah di bulan. Akan tetapi, melempar bola itu dengan kecepatan horizontal tertentu membutuhkan gaya yang sama di bulan maupun di bumi. Artinya gaya yang sama dibutuhkan untuk menghasilkan percepatan tertentu pada bola baik di bulan maupun di bumi karena massa bola adalah sama. Gaya yang sama juga dibutuhkan untuk menghasilkan percepatan bola yang sama di ruang bebas, jauh dari medan gravitasional apa pun.

Karena pada tiap lokasi tertentu, berat sebuah benda sebanding dengan massanya, kita dengan mudah dapat membandingkan massa sebuah benda lain dengan membandingkan beratnya, sepanjang kita menetapkan beratnya di lokasi yang sama. Perasaan kita tentang berat kita biasanya datang dari gaya-gaya lain yang

mengimbangnya. Sebagai contoh, ketika duduk di kursi, kita merasakan gaya yang dikerjakan oleh kursi yang mengimbangi berat kita dan dengan demikian mencegah kita jatuh ke lantai. Jika kita berdiri di atas timbangan pegas, kaki kita merasakan gaya yang dikerjakan pada kita oleh timbangan. Timbangan dikalibrasi untuk menunjukkan gaya yang harus diberikan (lewat penekanan pegasnya) untuk mengimbangi berat kita. Gaya yang mengimbangi berat kita dinamakan **berat semu** kita. Apa yang diberikan oleh timbangan pegas adalah berat semu. Jika tidak ada gaya untuk mengimbangi berat anda, seperti pada jatuh bebas, berat semu anda adalah nol. Kondisi ini dinamakan kondisi **tanpa bobot**, dialami astronout ketika mengelilingi satelit dalam orbit melingkar di dekat permukaan bumi dengan percepatan sentripetal v^2/r dengan r adalah jari-jari orbital dan v adalah kelajuannya. Satu-satunya gaya yang bekerja pada astronout adalah beratnya, yang menghasilkan percepatan $g = v^2/r$. Karena tidak ada gaya yang mengimbangi gaya gravitasi, berat semu astronout adalah nol.

Satuan Gaya dan Massa

Satuan SI untuk massa adalah **kilogram (kg)**. Seperti sekon dan meter, kilogram adalah satuan dasar dalam SI. Satuan gaya adalah **newton (N)** (perhatikan cara penulisannya). Gaya sebesar 1N menghasilkan percepatan 1 m/s^2 jika gaya itu bekerja pada benda 1 kg. Dari $\vec{F} = m\vec{a}$, kita dapatkan :

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

Pertanyaan :

1. Misalkan sebuah benda dikirimkan jauh ke luar angkasa, ke luar dari galaksi, bintang-bintang dan benda-benda lain. Bagaimana perubahan massanya ? beratnya?
2. Dalam keadaan bagaimana berat semu anda lebih besar daripada berat anda sesungguhnya?
3. Berapa berat anda dinyatakan dalam newton ?

Hukum ketiga Newton

Hukum ketiga Newton kadang-kadang dinamakan ***hukum interaksi*** atau ***hukum aksi reaksi***. Hukum ini menggambarkan sifat penting dari gaya, yaitu bahwa gaya-gaya selalu terjadi berpasangan. Jika sebuah gaya dikerjakan pada sebuah benda A, maka harus ada benda lain B yang mengerjakan gaya itu. Selanjutnya jika B mengerjakan gaya pada A, maka A harus mengerjakan gaya pada B yang sama besar dan berlawanan arahnya. Sebagai contoh bumi mengerjakan gaya gravitasional F_g pada sebuah benda proyektil, yang menyebabkan dipercepat ke bumi. Menurut hukum ketiga Newton, proyektil mengerjakan gaya pada bumi yang sama besar dan berlawanan arahnya. Jadi proyektil mengerjakan gaya $F_g^1 = -F_g$ pada bumi ke arah proyektil. Jika gaya adalah satu-satunya gaya yang bekerja pada bumi, bumi akan dipercepat ke arah proyektil. karena bumi mempunyai massa yang sangat besar, percepatan yang dialami akibat gaya yang dihasilkan proyektil ini sangat kecil dan tak teramati.

Dalam pembahasan tentang hukum ketiga Newton, kata “aksi” dan “reaksi” seringkali digunakan. Jika gaya yang dikerjakan pada benda A dinamakan aksi benda B pada A, maka gaya A yang dikerjakan balik pada B dinamakan reaksi A pada B. Tidaklah menjadi persoalan gaya mana dalam pasangan semacam itu dinamakan aksi dan yang mana reaksi. Yang penting adalah bahwa gaya-gaya selalu terjadi dalam pasangan aksi-reaksi, dan bahwa gaya reaksi adalah sama besar dan berlawanan arah dengan gaya aksi.

Perhatikan bahwa gaya aksi dan reaksi tidak pernah dapat saling mengimbangi karena ***mereka bekerja pada benda-benda yang berbeda***. Hal ini digambarkan pada gambar 5, yang menunjukkan dua pasangan aksi-reaksi untuk balok yang diam di atas sebuah meja.

Gambar 5 : Gaya aksi-reaksi. Berat $\mathbf{W}$ adalah gaya yang dikerjakan pada balok oleh bumi. Gaya reaksi yang sama dan berlawanan arah yang dikerjakan pada bumi oleh balok adalah $\mathbf{W}^1 = -\mathbf{W}$. Demikian juga meja mengerjakan gaya yang sama besar dan berlawanan arah yaitu $\mathbf{F}_n^1$ pada meja. Gaya aksi reaksi dikerjakan pada benda-benda yang berbeda dan karena itu tidak dapat saling mengimbangi.

Gaya yang bekerja ke bawah pada balok adalah berat $\mathbf{W}$ karena tarikan bumi. Gaya yang sama dan berlawanan $\mathbf{W}^1 = -\mathbf{W}$ dikerjakan oleh balok pada bumi. Gaya-gaya ini adalah pasangan aksi reaksi. Jika mereka adalah satu-satunya gaya yang ada, balok akan dipercepat ke bawah karena balok hanya mempunyai satu gaya yang bekerja padanya. Namun meja yang menyentuh balok akan mengerjakan gaya ke atas $\mathbf{F}_n$ padanya. Gaya ini mengimbangi berat balok. Balok juga mengerjakan gaya $\mathbf{F}_n^1 = -\mathbf{F}_n$ ke bawah pada meja. Gaya-gaya $\mathbf{F}_n$ dan $\mathbf{F}_n^1$ juga merupakan pasangan aksi reaksi. Selanjutnya perhatikan gambar 6 :

Gambar 6 : Seekor kuda menolak untuk menarik sebuah kereta. Alasan kuda, “menurut hukum ketiga Newton, gaya apa pun yang aku kerjakan pada kereta, kereta akan mengerjakan gaya yang sama dan berlawanan denganku, sehingga gaya netto akan nol dan aku tidak mempunyai kesempatan mempercepat kereta ini.” Adakah yang salah dengan alasan kuda?

Gambar 7 adalah sketsa kuda yang menarik kereta. Karena kita tertarik pada gerakan kereta, kita mengelilingi kereta dengan garis putus-putus dan telah menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada kereta. Gaya yang dikerjakan kuda diberi huruf T . Gaya ini dikerjakan kuda oleh kuda pada tali kekang. (Karena kekang diikatkan pada kereta, kita menganggapnya sebagai bagian dari kereta). Gaya lain yang bekerja pada kereta adalah beratnya W , gaya topang vertikal dari tanah F_n , dan gaya horizontal yang dikerjakan oleh tanah, diberi simbol huruf f (*untuk friction = gesekan*). Gaya-gaya vertikal W dan F_n saling mengimbangi. (Kita dapat memahami hal ini karena kereta tidak dipercepat secara vertikal). Gaya-gaya horizontal adalah T ke kanan dan f ke kiri. Kereta akan dipercepat jika T lebih besar dari f . Perhatikan bahwa gaya reaksi terhadap T adalah T^1 , dikerjakan pada kuda, tidak pada kereta. Gaya ini tidak mempunyai pengaruh pada gerakan kereta, tetapi ia mempengaruhi gerakan kuda. Jika kuda harus dipercepat ke kanan, maka harus ada gaya F (ke kanan) yang lebih besar daripada T^1 yang dikerjakan oleh tanah pada kaki kuda. Contoh ini menggambarkan pentingnya menggambar suatu diagram yang sederhana ketika memecahkan soal-soal mekanika. Andaikan kuda bisa menggambar diagram yang sederhana, tentunya ia melihat bahwa ia hanya perlu mendorong balik secara keras melawan tanah agar tanah mendorongnya maju.

Gambar 7 : Kuda yang menarik sebuah kereta. Kereta akan dipercepat ke kanan jika gaya T yang dikerjakan pada kereta oleh kuda lebih besar daripada gaya gesekan f yang dikerjakan pada kereta oleh tanah. Gaya T^1 adalah sama besar dan berlawanan arah dengan T , tetapi karena ia dikerjakan pada kuda, gaya ini tak mempunyai pengaruh pada gerakan kereta.

Langkah-langkah pemecahan persoalan umum dengan menggunakan hukum-hukum Newton :

1. *Gambarlah diagram yang rapi.*
2. *Isolasi benda (partikel) yang ditanyakan, dan gambarlah diagram benda bebas, dengan menunjukkan tiap gaya eksternal yang bekerja pada benda. Jika ada lebih dari satu benda yang ditanyakan dalam soal itu, gambarlah diagram benda bebas terpisah untuk masing-masing benda.*
3. *Pilihlah sistem koordinat yang sesuai untuk tiap benda, dan terapkan hukum kedua Newton dalam bentuk komponen.*
4. *Pecahkan persamaan yang dihasilkan untuk besaran yang tak diketahui dengan menggunakan informasi tambahan apa pun yang dapat diperoleh. Besaran yang tak diketahui dapat termasuk massa, komponen percepatan, atau komponen beberapa gaya.*
5. *Akhirnya, periksa hasil anda secara teliti, cocokkan untuk melihat apakah mereka cocok dengan perkiraan yang masuk akal. Yang terutama berharga adalah penentuan dugaan pemecahan anda jika variabel-variabel diberi nilai-nilai yang ekstrim. Dengan cara ini anda dapat mencari kesalahan pada pekerjaan anda.*

Contoh sederhana : Carilah percepatan balok bermassa m yang meluncur menuruni suatu permukaan tetap yang licin dan miring dengan sudut kemiringan θ terhadap bidang horizontal.

Langkah-langkah pemecahan soalnya sebagai berikut :

Ada dua gaya yang bekerja pada balok, yaitu beratnya $\mathbf{W}$ dan gaya normal $\mathbf{F}_n$ yang dikerjakan oleh bidang miring (Gambar 8). Untuk permukaan yang sebenarnya, terdapat gaya gesekan yang sejajar bidang miring, tetapi di sini kita mengasumsikan permukaan ideal yang licin. Karena kedua gaya itu tidak bekerja sepanjang garis yang sama, mereka tidak dapat dijumlahkan menjadi nol, sehingga balok harus dipercepat. Percepatannya adalah sepanjang bidang miring. Ini adalah contoh lain dari sebuah kendala.

Gambar 8 : Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah balok bermassa m pada bidang miring licin. Akan memudahkan bila memilih sumbu x sejajar dengan bidang miring itu

Untuk soal ini, akan memudahkan bila memilih kerangka koordinat dengan satu sumbu sejajar dengan bidang miring dan sumbu yang lainnya tegak lurus padanya, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Dengan demikian, percepatan hanya mempunyai satu komponen a_x . Untuk pilihan ini, F_n ada dalam arah y , dan berat W mempunyai komponen :

Gambar 9 : Berat balok dapat digantikan oleh komponennya sepanjang sumbu-sumbu x dan y . Karena vektor berat tegak lurus pada garis horizontal dan sumbu y negatif tegak lurus bidang miring, sudut antara kedua garis ini sama dengan sudut θ bidang miring ini. Jadi komponen y berat balok adalah $-mg \cos \theta$ dan komponen x adalah $mg \sin \theta$

$$W_x = W \sin \theta = mg \sin \theta$$

$$W_y = -W \cos \theta = -mg \cos \theta$$

Dengan m adalah massa balok dan g adalah percepatan gravitasi. Gaya netto dalam arah y adalah $F_n - mg \cos \theta$. Dari hukum kedua Newton dan kenyataan bahwa $a_y = 0$,

$$\sum F_y = F_n - mg \cos \theta = m a_y = 0$$

Dan dengan demikian

$$F_n = mg \cos \theta$$

Dengan cara yang sama untuk komponen x

$$\sum F_x = mg \sin \theta = m a_x$$

$$a_x = g \sin \theta$$

Percepatan menuruni bidang miring adalah konstan dan besarnya sama dengan $g \sin \theta$. Adalah bermanfaat untuk memeriksa hasil kita pada nilai kemiringan yang ekstrim, $\theta = 0$ dan $\theta = 90^\circ$. Pada $\theta = 0$, permukaan adalah horizontal. Berat hanya mempunyai komponen y , yang diimbangi oleh gaya normal F_n . Percepatan adalah nol ; $a_x = g \sin 0^\circ$, sama dengan nol. Pada ekstrim yang lain, $\theta = 90^\circ$, bidang miring adalah vertikal. Berat hanya mempunyai komponen x sepanjang bidang miring, dan gaya normal adalah nol ; $F_n = mg \cos 90^\circ = 0$. Percepatan $a_x = g \sin 90^\circ = g$. Artinya balok jatuh bebas.

Pertanyaan :

1. Sebuah lukisan yang beratnya 8 N digantungkan pada dua kawat yang tegangannya T_1 dan T_2 (Gambar 10). Hitung tegangan pada kawat-kawat itu.

Gambar 10 : Lukisan yang digantungkan pada dua kawat

2. Sebuah elevator turun ke lantai bawah dan berhenti dengan percepatan yang besarnya 4 m/s^2 . Jika massa anda 70 kg dan anda sedang berdiri di atas timbangan dalam elevator itu, berapakah pembacaan timbangan ketika elevator sedang berhenti ?