

HUKUM NEWTON TENTANG GERAK “DINAMIKA PARTIKEL”

1. PENDAHULUAN

Pernahkah Anda berpikir; mengapa kita bisa begitu mudah berjalan di atas lantai keramik yang kering, tetapi akan begitu kesulitan jika lantai tersebut berubah menjadi basah? Mengapa diperlukan jarak yang jauh untuk menghentikan kapal laut begitu kapal tersebut berjalan? Mengapa kaki kita terasa lebih sakit manakala menendang batu besar daripada ketika menendang batu kerikil? Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut menghantarkan kita pada kajian tentang **dinamika**, cabang mekanika yang mempelajari gerak dan gaya yang menyebabkannya. Pada bagian ini, kita akan menggunakan besaran-besaran dasar kinematika, yaitu jarak/perpindahan, kecepatan, dan percepatan yang dihubungkan dengan dua konsep baru, yaitu **gaya** dan **massa**.

Hukum tentang gerak dan penyebabnya sudah mulai dikaji sejak zaman Aristoteles (384-322 SM). Aristoteles menganggap bahwa suatu gaya, baik berupa tarikan maupun dorongan diperlukan untuk menjaga suatu benda bergerak. Pandangan ini meskipun agaknya logis dan sesuai dengan apa yang diamatai secara awam, namun pada saatnya nanti (ketika kita mempelajari Hukum Pertama Newton) kita akan melihat adanya kesalahan fatal pada pandangan Aristoteles tersebut. Pada generasi berikutnya lahir ilmuan seperti Copernikus, brahe dan kepler yang banyak menawarkan model analisis gerak benda-benda langit. Galelio bahkan telah memperkenalkan suatu besaran yang ia namai sebagai *kuantitas gerak*. Besaran inilah yang kini dikenal sebagai momentum. Pada tahun meninggalnya Galileo lahirlah Issac Newton yang kemudian menjadi orang pertama yang berhasil memberikan penjelasan secara mendasar tentang hukum-hukum gerak melalui ketiga hukumnya yang terkenal.

Hukum newton, meskipun tampak sangat sempurna, kini kita juga mendapati bahwa hukum-hukum tersebut tidak berlaku universal, namun masih membutuhkan modifikasi untuk benda pada kecepatan sangat tinggi (mendekati kecepatan cahaya) dan untuk benda dengan ukuran yang sangat kecil (atom).

Mekanika klasik (mekanika newtonian) menyediakan cara untuk menganalisis gerak pada benda yang relatif besar dan berkecepatan tidak terlampau

tinggi (jauh di bawah kecepatan cahaya), sedangkan untuk mempelajari gerak benda dengan kecepatan tinggi digunakan hukum-hukum relativitas. Adapun gerak yang dilakukan oleh benda-benda yang sangat kecil dipelajari melalui mekanika kuantum. Bagian ini hanya akan mengulas tentang mekanika klasik, artinya kita hanya akan bekerja dengan benda-benda yang berukuran relatif besar dan dengan kecepatan yang relatif kecil (jauh di bawah kecepatan cahaya).

2. GAYA DAN INTERAKSINYA

Gaya (force) dalam bahasa sehari-hari berarti dorongan atau tarikan. Konsep gaya memberikan gambaran kuantitatif tentang interaksi antara dua benda atau antara benda dengan lingkungannya. Tarikan atau dorongan tersebut dapat melalui suatu kontak langsung (gaya kontak/ contact force) atau melalui suatu jarak tertentu (gaya jarak jauh/long-range force). Ketika kita mendorong meja, menarik balok dengan tali, dan gaya gesek yang dikerahkan oleh tanah pada kaki kita merupakan beberapa contoh gaya kontak. Sedangkan besi yang tertarik oleh magnet atau apel yang jatuh ke permukaan tanah merupakan contoh gaya jarak jauh.

Gaya adalah besaran vektor, karena itu mempunyai besar dan arah serta memenuhi aturan-aturan operasi vektor. Satuan untuk gaya adalah newton, dan disingkat dengan N. Besar dan arah gaya bergantung kepada macam sistem dan lingkungan yang sedang ditinjau dan diungkapkan lewat hukum gaya. Hukum gaya ini mempunyai bentuk yang khas bagi sebuah sistem dan lingkungannya; sistem yang berbeda dan/atau lingkungan yang berbeda mempunyai hukum gaya yang berbeda. Contoh-contoh pasangan sistem dan lingkungan beserta hukum gaya yang berlaku :

- Pasangan dua benda titik sistem, pasangan satelit-bumi : Gaya gravitasi.
- Benda di dekat permukaan bumi : Gaya berat.
- Benda diikat dengan tali : Tegangan tali .
- Benda bersentuhan dengan lantai: gaya kontak, gaya normal, gaya gesekan.
- Benda diikat pada pegas: gaya Hooke
- Benda terbenam dalam fluida: gaya apung Archimedes
- Benda bermuatan q bergerak dalam medan listrik E dan medan Magnet B : gaya Lorentz

3. HUKUM PERTAMA NEWTON

Sebuah balok yang berada dalam keadaan diam, jika dibiarkan begitu saja (tidak diberi pengaruh luar) maka balok tersebut akan tetap diam. Balok dapat mengalami perubahan keadaan geraknya jika kepada balok tersebut bekerja suatu pengaruh luar yang disebut dengan gaya. Pada dasarnya setiap benda memiliki sifat inert (lambam), artinya bila tidak ada gangguan dari luar benda cenderung mempertahankan keadaan geraknya. Newton mengartikan keadaan gerak ini sebagai kecepatan benda. Bila resultan pengaruh luar sama dengan nol, maka kecepatan benda tetap dan benda bergerak lurus beraturan atau diam jika awalnya memang diam. Dengan demikian pernyataan Aristoteles bahwa gaya diperlukan untuk mempertahankan gerak tidaklah tepat. Benda bisa saja tetap bergerak lurus beraturan meskipun tidak ada gaya yang bekerja padanya.

Pernyataan terakhir seolah aneh. Barangkali selama ini kita menganggap bahwa benda akan bergerak jika kepadanya diberi gaya, dan jika gaya tersebut dihilangkan maka benda akan kembali berhenti. Kita tergoda menyimpulkan hal tersebut (sebagaimana yang dilakukan oleh Aristoteles) karena pengalaman sehari-hari yang tidak diobservasi secara menyeluruh. Misalnya, ketika kita mendorong sebuah kursi dan kursi tersebut berhasil bergerak ke suatu arah tertentu, lalu kita melepaskan kursi, maka kursi akan segera berhenti. Berdasarkan keadaan ini kita buru-buru menyimpulkan bahwa benda dapat bergerak terus-menerus jika dikenai gaya terus-menerus, dan akan segera berhenti jika tidak diberi gaya lagi. Sekarang bayangkan apa yang akan terjadi jika lantai cukup licin dan permukaan kursi juga licin, atau bayangkan apa yang akan terjadi jika lantai dan kursi super licin (benar-benar tidak terjadi gesekan)? Jika hal itu terpenuhi, maka kursi akan terus bergerak dengan kecepatan tetap pada lintasan lurus.

Karena kecepatan adalah besaran relatif, artinya kecepatan bergantung kepada kerangka acuan yang dipakai, maka pernyataan bahwa kecepatan benda tidak berubah juga bergantung kepada kerangka acuan. Kerangka acuan di mana penalaran Newton di atas berlaku disebut kerangka acuan inersial, yaitu suatu kerangka acuan yang benar-benar diam atau benar-benar bergerak dengan kecepatan tetap.

Hukum pertama Newton dirumuskan sebagai berikut:

Dalam kerangka inersial, setiap benda akan tetap dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali jika ia terpaksa mengubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya dari lingkungan tempat benda berada.

Dapat dikatakan bahwa hukum Newton pertama ini merupakan definisi bagi kerangka inersial. Kerangka acuan inersia yang digunakan untuk menganalisis gerak di atas permukaan bumi adalah bumi itu sendiri. Hukum pertama Newton lebih presisi dibanding dengan apa yang diusulkan Aristoteles. Tanpa adanya gaya luar, sebuah benda yang bergerak akan tetap terjaga bergerak. Dengan kata lain kecepatannya tidak akan berubah baik besar maupun arah. Ketahanan sebuah benda untuk merubah gerakan disebut *inersia*. Hukum pertama Newton ekuivalen dengan mengatakan sebuah benda mempunyai inersia.

4. HUKUM KEDUA NEWTON

Hukum pertama Newton merupakan kasus khusus untuk benda dengan resultan gaya nol. Apa yang terjadi jika terdapat gaya total yang bekerja pada suatu benda? Contoh: sebuah balok dilempar di atas permukaan lantai kasar. Selama balok bergerak, bekerja suatu gaya gesek yang menyebabkan kecepatan balok berkurang dan pada akhirnya berhenti. Ini adalah kasus yang umum terjadi pada peristiwa gerak. Akan ada gaya luar yang bekerja pada suatu benda yang menyebabkan *kuantitas gerak* suatu benda berubah. Pernyataan inilah yang menjadi dasar Hukum Kedua Newton.

Berbagai pengamatan menunjukkan bahwa untuk menghasilkan perubahan kecepatan yang sama, pada benda yang berbeda dibutuhkan 'besar' pengaruh luar yang berbeda pula. Sebaliknya dengan besar pengaruh luar yang sama, perubahan kecepatan pada benda-benda ternyata berbeda-beda. Jadi ada suatu kuantitas intrinsik (diri) pada benda yang menentukan ukuran seberapa besar sebuah pengaruh luar dapat mengubah kondisi gerak benda tersebut. Kuantitas ini sebanding dengan jumlah dan jenis zat. Kuantitas intrinsik pada benda ini kemudian disebut sebagai massa inersia, disimbolkan dengan m . Massa inersia (atau sering disebut sebagai massa) memberikan ukuran derajat kelembaman atau derajat inersia sebuah benda. Satuan dari massa adalah kilogram, dalam

satuan SI. Makin besar massanya makin sulit untuk menghasilkan perubahan kondisi gerak pada benda tersebut.

Hukum Kedua Newton menyatakan hubungan antara gaya dan perubahan keadaan gerak secara kuantitatif. Newton menyebutkan bahwa:

*kecepatan perubahan **kuantitas gerak** suatu partikel sama dengan **resultan gaya** yang bekerja pada partikel tersebut.*

Dalam bahasa kita sekarang kuantitas gerak yang dimaksudkan oleh Newton diartikan sebagai momentum p yang didefinisikan sebagai: $p=mv$ dengan m adalah massa partikel dan v adalah kecepatannya. Dalam mekanika klasik pada umumnya massa partikel adalah tetap. Hukum Kedua Newton dituliskan sbb:

$$\Sigma F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt}$$
$$\Sigma F = ma$$

5. HUKUM KETIGA NEWTON

Setiap gaya mekanik selalu muncul berpasangan sebagai akibat saling tindak antara dua benda. Bila benda A dikenai gaya oleh gaya B, maka benda B akan dikenai gaya oleh benda A. Pasangan gaya ini dikenal sebagai pasangan aksi-reaksi. Menurut hukum Ketiga Newton:

Setiap gaya mekanik selalu muncul berpasangan, yang satu disebut aksi dan yang lain disebut reaksi, sedemikian rupa sehingga aksi = - reaksi.

$$F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

Mana yang disebut aksi dan mana yang disebut reaksi tidaklah penting, yang penting kedua-duanya ada.

Sifat pasangan gaya aksi-reaksi adalah sebagai berikut (1) sama besar, (2) arahnya berlawanan, dan (3) bekerja pada benda yang berlainan (satu bekerja pada benda A, yang lain bekerja pada benda B. Pasangan aksi-reaksi yang memenuhi ketiga sifat ini disebut memenuhi bentuk lemah hukum Ketiga Newton. Banyak pula pasangan aksi-reaksi yang memenuhi sifat tambahan yaitu (4) mereka terletak dalam satu garis lurus . Pasangan ini juga memenuhi sifat terakhir disebut memenuhi bentuk kuat hukum Ketiga Newton.

6. BEBERAPA JENIS GAYA

a. Gaya Berat

Semua benda yang berada dekat dengan permukaan bumi akan memperoleh suatu percepatan yang sama menuju pusat bumi. Percepatan seperti ini dinamakan sebagai percepatan gravitasi bumi. Dengan demikian, mengingat benda memiliki suatu massa tertentu, maka pada benda yang berada dekat dengan permukaan bumi bekerja suatu gaya ($F=ma$). Gaya semacam ini disebut sebagai gaya berat, dirumuskan:

$$w = mg$$

dengan g adalah percepatan gravitasi bumi, yang nilainya pada permukaan bumi sekitar $9,8 \text{ m/s}^2$. Gaya berat untuk benda yang terletak jauh dari permukaan bumi, diselesaikan dengan perumusan percepatan gravitasi yang diperoleh dari hukum gravitasi universal. Hal ini akan dibahas dalam bab tersendiri.

b. Gaya Pegas

Sebuah pegas ideal bila diregangkan atau ditekan akan memberikan gaya yang sebanding dengan besar perubahan panjang pegas namun arahnya berlawanan dengan arah perubahan panjang. Artinya, jika tangan kita menarik ke arah kiri suatu pegas, maka pegas akan menarik kita ke arah kanan. Jadi gaya yang diberikan oleh pegas adalah:

$$F = - k x$$

x adalah vektor besar perubahan panjang pegas dan tanda negatif pada persamaan di atas menunjukkan arah gayanya yang berlawanan dengan arah perubahan panjang pegas. Konstanta kesebandingan k disebut juga sebagai konstanta pegas. Kebanyakan pegas real akan mengikuti persamaan di atas untuk nilai x yang cukup kecil.

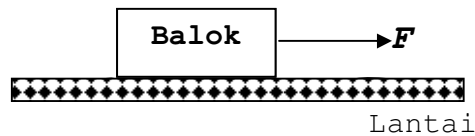
c. Gaya Normal/Gaya Kontak

Antara dua permukaan benda yang saling bersentuhan akan ada gaya dari permukaan benda yang satu ke permukaan benda yang kedua, dan sebaliknya. Arah gaya normal tegak lurus terhadap permukaan dan membentuk pasangan aksi-reaksi. Besar gaya normal dapat diketahui dari

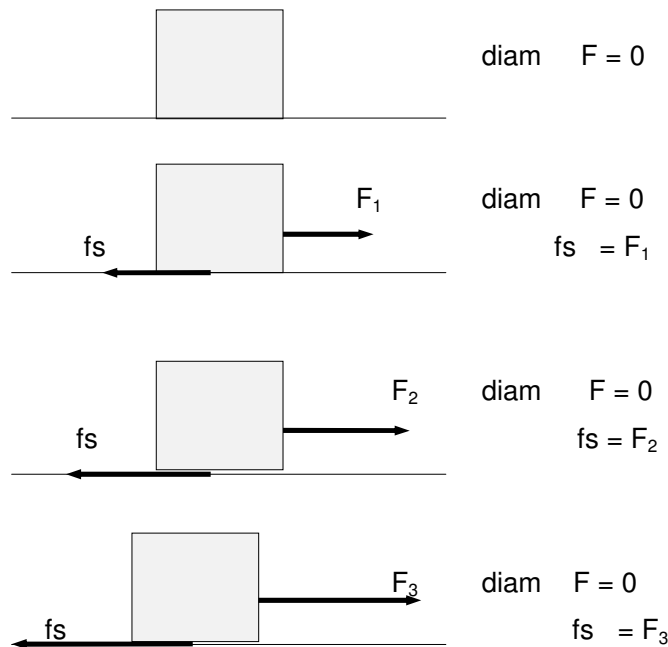
persamaan-persamaan hukum Newton, bila besar gaya-gaya yang lain diketahui.

d. Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang terjadi antara dua permukaan yang bergerak relatif berlawanan.



Antara permukaan lantai dan balok terdapat adhesi permukaan. Hal ini yang menyebabkan mengapa balok terasa lebih berat di dorong pada saat sedang diam dibandingkan ketika sudah mulai bergerak. Pada saat diam gaya ikat antar atom atau molekul cukup besar, sehingga butuh gaya yang lebih besar untuk memecah ikatan tersebut. Tinjau sebuah balok yang terletak pada bidang datar yang kasar.

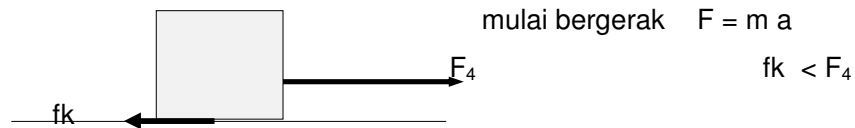


Gaya gesek yang terjadi selama benda diam disebut *gaya gesek statik*. Gaya gesek statik maksimum merupakan gaya terkecil yang dibutuhkan agar benda mulai bergerak. Gaya gesek statik maksimum :

- Tidak tergantung luas daerah kontak.
- Sebanding dengan gaya normal.

$$f_s \leq \mu_s N, \text{ dimana } \mu_s = \text{koefisien gesek statis}$$

Bila F_3 diperbesar sedikit saja, benda akan bergerak.



Gaya gesek yang terjadi selama benda sedang bergerak disebut gaya gesek kinetik.

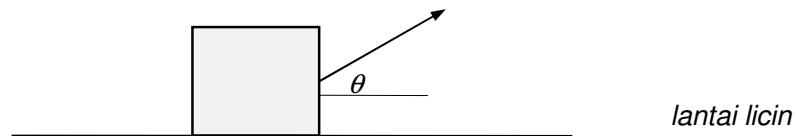
$$f_k = \mu_k N, \text{ dimana } \mu_k = \text{koefisien gesek kinetik}$$

7. PENGGUNAAN HUKUM NEWTON

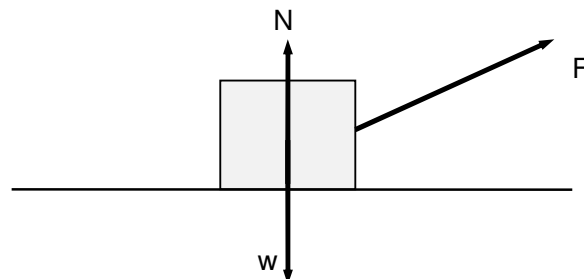
Hukum kedua Newton , $F = m a$, merupakan bagian yang penting di dalam menyelesaikan masalah-masalah mekanika. Ada beberapa langkah yang berguna untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah mekanika.

- Identifikasi obyek/benda yang menjadi pusat perhatian.

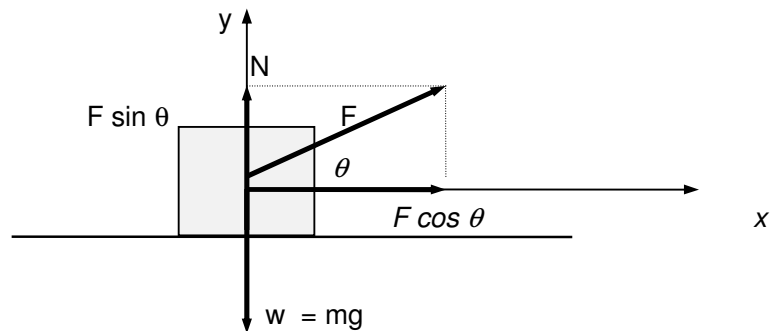
Pada sistem di bawah ini yang menjadi pusat perhatian adalah **balok**



- Gambar gaya-gaya yang bekerja pada obyek/benda tersebut secara vektor.



- c. Pilih sistem koordinat pada obyek/benda tersebut dan proyeksikan gaya-gaya yang bekerja pada sumbu koordinat.



- d. Tulis hukum kedua Newton dalam $F = ma$, dan jumlahkan F total yang bekerja pada obyek/benda tersebut secara vektor.

Gaya-gaya pada komponen x

$$F_x = m a_x$$

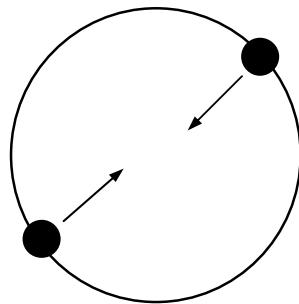
$$F \cos \theta = m a_x$$

Gaya-gaya pada Komponen y

$$F_y = m a_y$$

$$F \sin \theta + N - mg = m a_y$$

8. DINAMIKA GERAK MELINGKAR

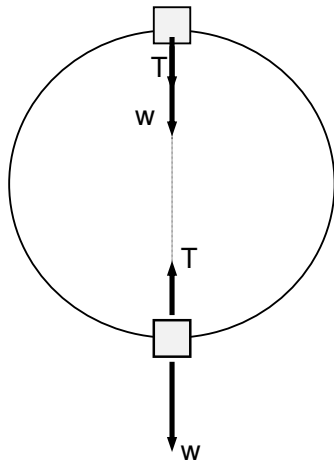


Suatu partikel dapat bergerak melingkar dengan besar kecepatan konstan, jika partikel tersebut mengalami percepatan sentripetal, yaitu percepatan ke arah pusat lingkaran:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Berdasarkan Hukum kedua Newton, bahwa apabila sebuah benda bergerak dipercepat maka pada benda tersebut bekerja suatu gaya. Maka pada kasus benda bergerak melingkar, pada benda tersebut bekerja gaya yang arahnya juga ke pusat. Gaya tersebut dikenal sebagai ***gaya sentripetal***.

Contoh : sebuah balok yang diputar vertikal dengan tali, pada posisi di A gaya yang menuju ke pusat adalah tegangan tali T dan berat balok w, jadi $F_c = T + w$



Pada posisi di bawah, gaya yang menuju ke pusat adalah tegangan tali T dan berat balok w (arah menjauhi pusat). Jadi $F_c = T - w$