

# Pembinaan B-Bolt Fisika Statika

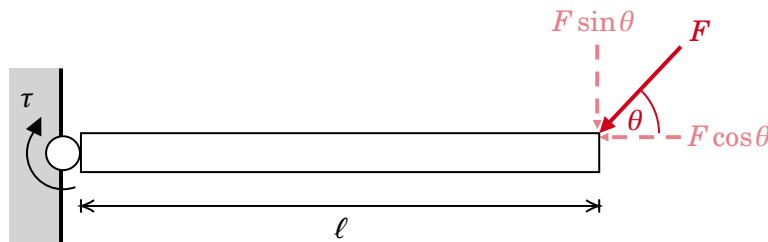
Z. Nayaka Athadiansyah  
SMA Negeri 3 Malang  
9 Maret 2023

## A Konsep Dasar

**Statika** adalah cabang mekanika klasik yang membahas tentang kesetimbangan benda-benda, yakni keadaan ketika benda diam atau bergerak dengan kecepatan konstan.

**Gaya** ( $F$ ) adalah *tarikan* atau *dorongan*. Gaya memengaruhi gerakan suatu benda sehingga kecepatannya berubah—dengan kata lain, *gaya memberikan percepatan*. Sebagai konsekuensi, gaya menyebabkan pergeseran posisi (translasi). Jika sejumlah gaya ( $F_1, F_2, F_3, \dots$ ) diberikan kepada satu titik yang sama, maka resultan gayanya adalah jumlah vektor dari gaya-gaya tersebut, yakni  $R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = \sum F_i$ .

**Torsi** ( $\tau$ ) adalah *pemutaran* atau *puntiran*. Torsi memengaruhi gerakan suatu benda sehingga kecepatan sudutnya berubah—benda diam menjadi berputar atau membuat putarannya lebih cepat, dan sebaliknya. Torsi menyebabkan perputaran suatu benda terhadap suatu sumbu (rotasi). Misalkan sebuah batang sepanjang  $\ell$  yang diengsel pada tembok didorong oleh gaya  $F$  membentuk sudut  $\theta$  dengan sumbu horizontal seperti gambar berikut:



Jika kita uraikan komponen-komponen  $F$  menjadi  $F_x = F \cos \theta$  dan  $F_y = F \sin \theta$ , maka  $F_x$  hanya akan mendorong batang ke tembok dan tidak menyebabkan rotasi. Namun,  $F_y$  akan membuat batang berputar searah jarum jam sehingga memberikan torsi.

Dari pengalaman kita sehari-hari dalam membuka pintu, misalnya, kita tahu bahwa tarikan atau dorongan yang kita berikan makin efektif dalam memberikan putaran jika kita melakukannya pada titik yang jauh dari engsel, yakni pusat rotasinya. Secara matematis, torsi dinyatakan sebagai

$$\tau = F \sin \theta \cdot \ell = F \ell \sin \theta. \quad (\text{A.1})$$

$\ell$  disebut **lengan gaya**, yakni jarak titik kontak gaya dengan sumbu putar. Kita bisa simpulkan bahwa hanya komponen gaya yang tegak lurus terhadap posisi benda saja yang menyebabkan torsi. Secara vektor, torsi didefinisikan sebagai *hasil kali silang (cross product) antara vektor lengan gaya dengan vektor gaya* (Gambar 1(b)), yakni

$$\tau = \mathbf{r} \times \mathbf{F}. \quad (\text{A.2})$$

Secara praktis, arah torsi dibedakan menjadi dua: searah dan berlawanan jarum jam. Pada kasus gambar di atas, torsi yang diberikan searah jarum jam karena  $F \sin \theta$  akan membuat batang berputar searah jarum jam.

## B Hukum Inersia

Hukum I Newton: *Tiap benda akan mempertahankan keadaannya, entah diam atau bergerak lurus secara seragam, jika tidak ada gaya luar yang bekerja.*

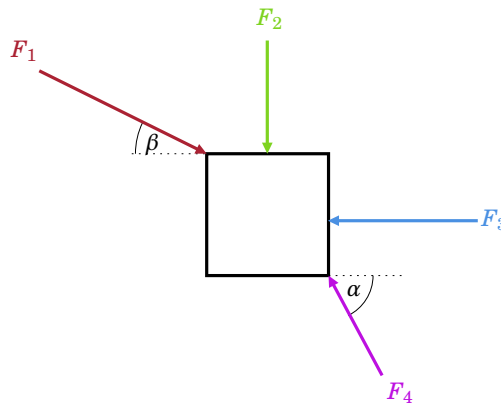
Hal ini juga berlaku jika ada sekumpulan gaya yang bekerja pada benda tetapi ketika dijumlahkan, resultan gayanya sama dengan nol. Ini sama saja dengan tidak ada gaya luar yang bekerja. Secara matematis, hukum inersia berlaku ketika

$$\Sigma \mathbf{F} = 0 \quad (\text{B.1})$$

Untuk gerak rotasi, berlaku pula

$$\Sigma \tau = 0 \quad (\text{B.2})$$

**Contoh B.1.** Sebuah kubus dipengaruhi oleh empat gaya eksternal ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , dan  $F_4$ ):

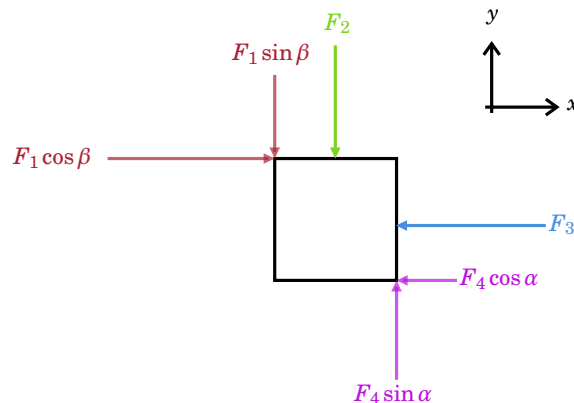


Bagaimanakah hubungan keempat gaya tersebut supaya kubus setimbang? Anggap saja kubus adalah suatu partikel sehingga ukurannya bisa diabaikan.

*Jawab.* Jika benda setimbang, maka resultan gayanya sama dengan nol, mencakup resultan gaya pada sumbu- $x$  maupun sumbu- $y$ :

$$\Sigma F_x = 0 \quad \text{dan} \quad \Sigma F_y = 0$$

Sekarang, mari kita proyeksikan gaya-gaya yang "miring" ( $F_1$  dan  $F_4$ ) terhadap sumbu- $x$  dan sumbu- $y$ :



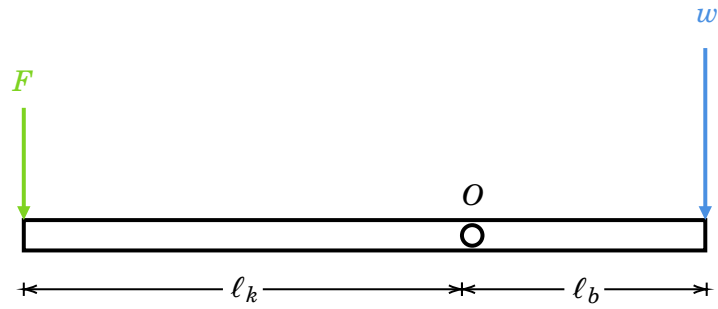
Selanjutnya, kita tinjau gaya-gaya yang bekerja pada tiap sumbu:

$$\Sigma F_x = F_1 \cos \beta - F_3 - F_4 \cos \alpha = 0$$

$$\Sigma F_y = -F_1 \sin \beta - F_2 + F_4 \sin \alpha = 0.$$

Demikianlah hubungan yang harus terpenuhi agar kubus setimbang. □

**Contoh B.2.** Sebuah batang dipaku pada titik  $O$  sehingga bebas berotasi terhadap titik tersebut. Diberikan sepasang gaya yang tegak lurus terhadap batang:  $F$  dan  $w$ , masing-masing pada jarak  $\ell_k$  dan  $\ell_b$  dari titik  $O$ . Bagaimana hubungan keempat variabel tersebut supaya batang mengalami keseimbangan torsi?



*Jawab.* Ketika kesetimbangan torsi tercapai, berlaku  $\Sigma \tau = 0$ . Dengan mengambil arah berlawanan jarum jam sebagai positif, kita tinjau torsi yang diberikan pada titik  $O$ :

$$F \cdot \ell_k - w \cdot \ell_b = 0 \quad \Longleftrightarrow \quad F \cdot \ell_k = w \cdot \ell_b.$$

Dilihat-lihat, hubungan di atas pernah kita pelajari semasa duduk di bangku sekolah dasar! :D □

## C Gaya-Gaya Umum

Ada beberapa gaya yang sering muncul dalam persoalan; empat yang paling utama diantaranya: **gaya tegangan tali**, **gaya normal**, **gaya gesek**, dan **gaya gravitasi**.

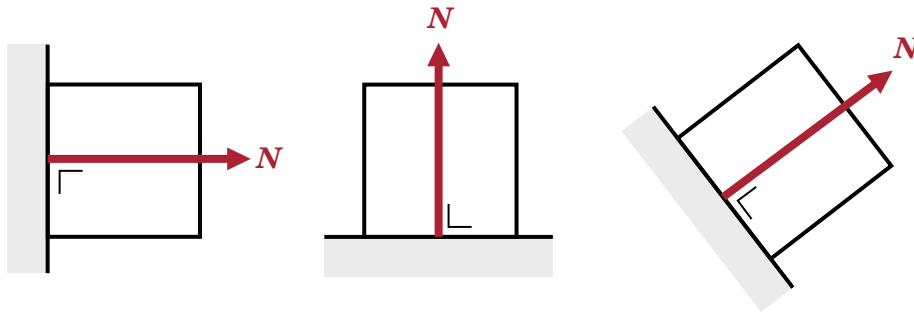
### C.I Gaya Tegangan Tali

Gaya ini terjadi ketika ada tali, tongkat, dsb yang ditarik. Tiap bagian pada tali mengalami tegangan ke dua arah kecuali ujung-ujungnya, yang mengalami tegangan pada satu sisi dan gaya dari benda apapun yang menariknya pada sisi lainnya. Seringkali, tali *diasumsikan tak bermassa*. Pada kasus ini, gaya tegangan pada kedua sisi sama.<sup>i</sup>



### C.II Gaya Normal

Gaya ini terjadi ketika sebuah objek berkontak dengan suatu permukaan. Gaya normal<sup>ii</sup> arahnya tegak lurus terhadap bidang kontak.



### C.III Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang menghambat gerakan pada dua permukaan yang bersentuhan. Gaya gesek berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan benda bergerak. Ada dua macam gaya gesek, yakni gaya gesek *statis* dan gaya gesek *kinetis*. Seberapa besar gesekan dideskripsikan oleh koefisien gesek, yakni koefisien gesek statis ( $\mu_s$ ) dan kinetis ( $\mu_k$ ) yang tak berdimensi. Nilai  $\mu_s$  dan  $\mu_k$  tergantung dengan permukaan yang bergesekan.

#### C.III.a Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis ( $f_s$ ) terjadi ketika dua benda yang saling bersentuhan tidak bergerak relatif terhadap satu sama lain (diam). Gaya ini dihasilkan ketika sebuah benda diberikan gaya tepat sebelum mulai bergerak. Secara matematis, gaya gesek statis dinyatakan sebagai

$$f_s \leq \mu_s N \quad (\text{C.1})$$

dengan  $N$  adalah gaya normal pada benda. Adanya tanda pertidaksamaan menunjukkan bahwa  $\mu_s N$  hanyalah nilai maksimum dari gaya gesek statis. Jika kita memberi gaya yang besarnya kurang dari  $\mu_s N$  ke arah kanan, maka gaya tersebut akan dilawan oleh gaya  $f_s$  ke arah kiri yang sama besar.<sup>iii</sup> Benda akan tetap diam hingga diberikan gaya yang lebih besar dari  $\mu_s N$ .

<sup>i</sup>Jika tidak, akan ada resultan gaya pada suatu bagian pada tali dan berdasarkan  $\Sigma F = ma$ , tali akan memiliki percepatan yang tak terhingga!

<sup>ii</sup>Dalam matematika, *normal* berarti tegak lurus.

<sup>iii</sup>Jika pada kasus ini  $f_s = \mu_s N$ , maka benda akan bergeser ke kiri karena ada resultan gaya.

### C.III.b Gaya Gesek Kinetis

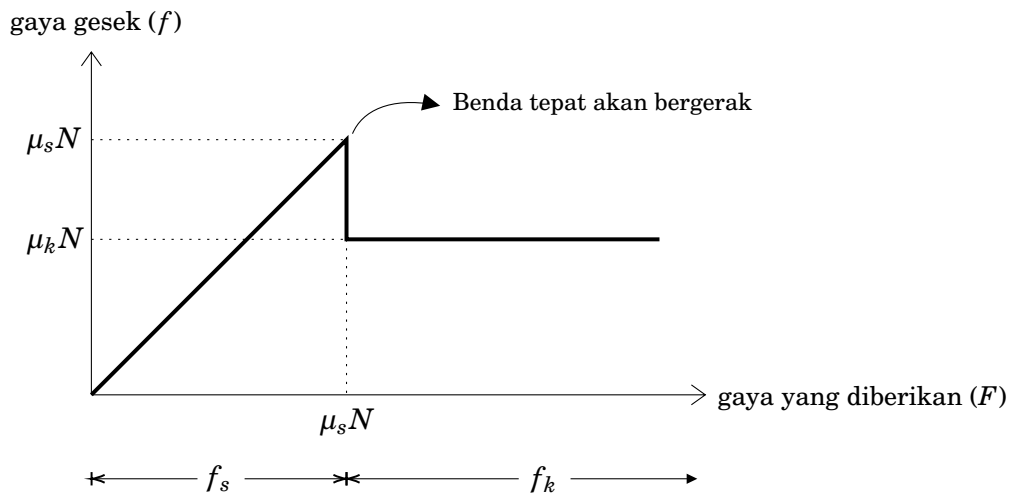
Gaya gesek kinetis ( $f_k$ ) terjadi ketika dua objek yang bersentuhan bergerak relatif terhadap satu sama lain (kecepatan relatif satu sama lain bukan nol). Pada dasarnya, gaya gesek ini terjadi ketika suatu benda bergerak. Secara matematis, gaya gesek kinetis dinyatakan sebagai

$$f_k = \mu_k N \quad (C.2)$$

yang umumnya lebih kecil dari  $f_s$ .

### C.III.c Grafik Gaya Gesek

Grafik besar gaya gesek terhadap gaya yang diberikan ditunjukkan oleh grafik berikut:



Dapat kita bayangkan jika kita mendorong sebuah lemari secara perlahan-lahan, mula-mula lemari tidak akan bergerak. Tepat setelah diberikan gaya yang cukup besar, lemari baru bisa bergerak. Gesekan yang menghambat gerakan lemari ini tidak begitu besar dibandingkan dengan ketika lemari masih diam.

### C.IV Gaya Gravitasi

Berdasarkan hukum gravitasi universal Newton, gaya tarik menarik antara dua benda bermassa  $M$  dan  $m$  yang terpisah sejauh  $R$  adalah

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \quad (C.3)$$

di mana  $G$  adalah tetapan gravitasi ( $= 6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ). Untuk benda-benda yang dekat dengan permukaan bumi, gaya gravitasi yang dialami setara dengan

$$F = m \left( \frac{GM_E}{R_E^2} \right) \equiv mg \quad (C.4)$$

di mana  $M_E = 5,9722 \times 10^{24} \text{ kg}$  dan  $R_E = 6,3781 \times 10^6 \text{ m}$  secara berturut-turut adalah massa dan jejari Bumi. Berdasarkan eksperimen diketahui bahwa  $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ . Arah gaya gravitasi untuk dekat permukaan bumi adalah ke bawah.

### C.V Gaya Pegas

Jika pegas disimpangkan sejauh  $\Delta x$  oleh suatu gaya, maka pegas akan memberikan gaya reaksi ke arah berlawanan yang sama besar. Gaya ini disebut **gaya pegas**. Berdasarkan hukum Hooke, gaya  $F$  yang diberikan berbanding lurus dengan simpangan  $\Delta x$  yang dihasilkan:

$$F \propto \Delta x$$

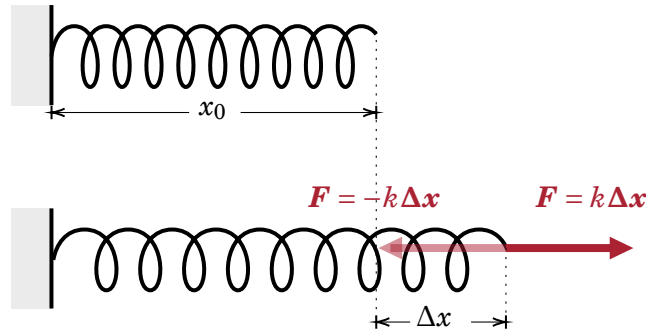
yang cukup masuk akal, sebab pegas akan meregang makin panjang jika tarikan yang diberikan makin kuat. Dalam bentuk persamaan, hukum Hooke dapat dituliskan sebagai

$$F = k\Delta x \quad (\text{C.5})$$

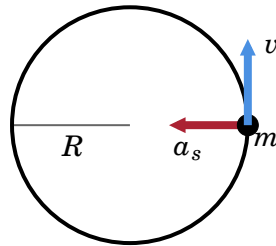
di mana  $k$  adalah konstanta elastisitas—seberapa kaku suatu bahan elastis.<sup>iv</sup> Gaya yang diberikan pegas adalah

$$F = -k\Delta x.$$

Gaya pegas berperan sebagai *gaya pemulih*—gaya yang berusaha *memulihkan* pegas ke posisi awal.



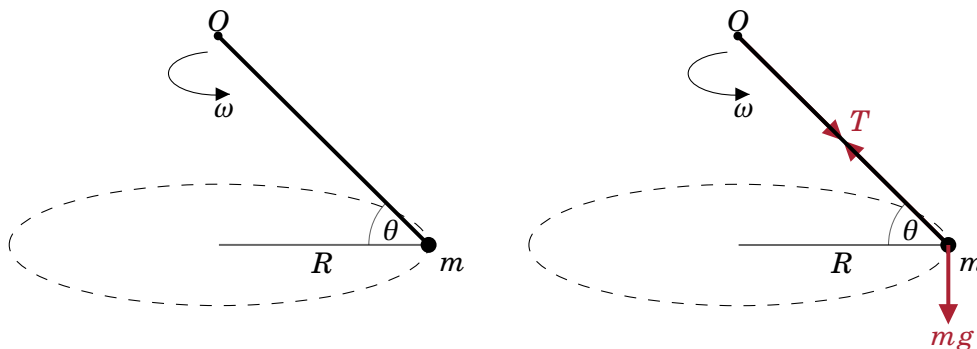
## C.VI Gaya Sentripetal



Sebagaimana telah dibahas pada bab Kinematika, tiap benda yang bergerak melingkar mengalami percepatan ke arah pusat yang besarnya  $a_s = v^2/R = \omega^2 R$ . Karena  $\Sigma F = ma$ , maka pada arah radial berlaku

$$\Sigma F_r = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R \quad (\text{C.6})$$

**Contoh C.1.** 1 Pada gambar berikut, sebuah bandul konis tersusun atas partikel bermassa  $m$  yang



digantungkan pada tali dengan sudut  $\theta$ , sedemikian sehingga partikel menempuh lintasan melingkar dengan kelajuan sudut konstan  $\omega$ . Misalkan kita diminta untuk menentukan tegangan tali  $T$ . Komponen gaya tegangan tali ke arah radial adalah  $T\cos\theta$ . Dengan demikian, berdasarkan persamaan (C.6):

<sup>iv</sup>Coba tentukan dimensi dan satuan (dalam SI) konstanta elastisitas.

$$T \cos \theta = m \omega^2 R \iff T = \frac{m \omega^2 R}{\cos \theta}$$

## D Diagram Benda Bebas

Diagram benda bebas (bahasa Inggris: *free body diagram*, *FBD*) adalah ilustrasi grafis untuk memvisualisasikan gaya, torsi, dan resultan pada benda dalam kondisi tertentu. Kita mengisolasi suatu benda dari lingkungannya supaya fokus dengan gaya-gaya yang bekerja padanya. Gaya-gaya yang digambarkan adalah gaya eksternal, yakni gaya yang diberikan benda lain terhadap benda yang ditinjau.<sup>v</sup> Umumnya, diagram benda bebas memuat:

- ilustrasi sederhana dari benda yang ditinjau;
- gaya, yang digambarkan sebagai anak panah lurus yang menunjukkan arahnya ( $\rightarrow$ );<sup>vi</sup>
- torsi, yang digambarkan sebagai anak panah melengkung ( $\curvearrowright, \curvearrowleft$ ); dan
- sistem koordinat yang digunakan.

Selain itu, kita bisa menyesuaikan gaya-gaya yang arahnya tidak searah dengan sumbu yang dipakai. Kita bisa merepresentasikan gaya tersebut sebagai hasil penjumlahan antara komponen-komponennya pada sumbu.

**Contoh D.1.** Sebuah balok bermassa  $m$  berada pada bidang miring kasar dengan kemiringan  $\theta$  dan koefisien gesek statis  $\mu_s$  berada dalam keadaan setimbang.

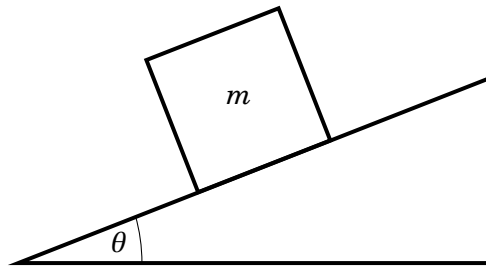
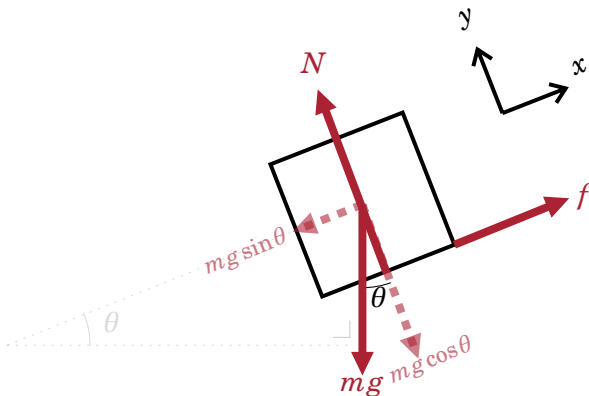


Diagram benda bebas dari balok tersebut adalah sebagai berikut:



$N$  adalah gaya normal yang diberikan bidang miring terhadap balok,  $f$  adalah gaya gesek statis, dan  $mg$  adalah gaya gravitasi pada balok. Di sini kita memilih sistem koordinat Kartesius, dengan sumbu- $x$  dan sumbu- $y$  secara berturut-turut sejajar dan tegak lurus terhadap bidang miring.<sup>vii</sup>  $mg$  tidak searah dengan sumbu tersebut sehingga kita uraikan komponen-komponennya pada arah sumbu:  $mg \sin \theta$  dan  $mg \cos \theta$ .

<sup>v</sup>Gaya internal seperti gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antar partikel penyusun benda akan saling meniadakan (Hukum III Newton) sehingga tidak berkontribusi pada percepatan benda.

<sup>vi</sup>Tidak perlu mempermasalahkan besar kecilnya gaya (yakni, panjang pendeknya anak panah). Kita cukup menggambarkan saja.

<sup>vii</sup>Kita tidak harus memilih arah sumbu yang demikian—sesuaikan dengan kenyamanan pribadi.

## E Daftar Pustaka

- Morin, David. (2014). *Problems and Solutions in Introductory Mechanics*. ISBN-13: 978-1482086928.
- Kanginan, Marthen. (2013). *Fisika untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Erlangga.
- Verma, H.C. (2008). *Concepts of Physics* (jilid ke-1). New Delhi: Bharati Bhawan.
- Halliday, David. Resnick, Robert. Krane, Kenneth S. (1992). *Physics* (edisi ke-4). New York, NY: John Wiley and Sons.
- Finn, Edward J. Alonso, Marcelo. (1967). *Fundamental University Physics* (jilid ke-1). Ontario: Addison-Wesley
- Feynman, Richard. (1963-1965). *The Feynman Lectures on Physics*. [feynmanlectures.caltech.edu](http://feynmanlectures.caltech.edu)

## F Lampiran

### Alfabet Yunani

$A\alpha$ Alpha	$B\beta$ Beta	$\Gamma\gamma$ Gamma	$\Delta\delta$ Delta	$E\epsilon$ Epsilon	$Z\zeta$ Zeta
$H\eta$ Eta	$\Theta\vartheta$ Theta	$I\iota$ Iota	$K\kappa$ Kappa	$\Lambda\lambda$ Lambda	$M\mu$ Mu
$N\nu$ Nu	$\Xi\xi$ Xi	$O\omicron$ Omikron	$\Pi\pi$ Pi	$\rho$ Rho	$\Sigma\sigma/\varsigma$ Sigma
$T\tau$ Tau	$\Upsilon\upsilon$ Upsilon	$\Phi\phi$ Phi	$\chi$ Chi	$\Psi\psi$ Psi	$\Omega\omega$ Omega

### Identitas-identitas Pemfaktoran

$$(a \pm b)^2 = a^2 + b^2 \pm 2ab$$

$$a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$$

$$(x + a)(x + b) = x^2 + (a + b)x + ab$$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2ac + 2bc$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm b^3 \pm 3ab(a \pm b) = a^3 \pm b^3 \pm 3a^2b \pm 3ab^2$$

$$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

$$a^n - b^n = (a - b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1}), \quad n \in \mathbb{N}$$

*Aproksimasi Binomial*. Jika  $|x| \ll 1$  (baca: harga mutlak  $x$  jauh lebih kecil dari satu)

dan  $|nx| \ll 1$  maka  $(1 + x)^n \approx 1 + nx$