

Hukum Newton dalam Koordinat Polar

Giodanno Limin

Ide, arahan, dan pemeriksaan konsep: Giodanno Limin

Penjelasan, penyusunan LaTeX, dan gambar TikZ: dengan bantuan ChatGPT

Abstract

Catatan ini menurunkan bentuk lengkap Hukum Newton II dalam koordinat polar. Tujuan utamanya adalah menunjukkan asal-usul suku percepatan radial, sentripetal, tangensial, dan Coriolis. Dokumen ini dibuat berdasarkan ide dan pemeriksaan konsep dari Giodanno Limin, dengan bantuan ChatGPT untuk penyusunan penjelasan, LaTeX, dan gambar TikZ. Notasi titik di atas huruf berarti turunan terhadap waktu:

$$\dot{r} = \frac{dr}{dt}, \quad \ddot{r} = \frac{d^2r}{dt^2}, \quad \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}, \quad \ddot{\theta} = \frac{d^2\theta}{dt^2}.$$

Contents

1	Intuisi SMP: Kenapa Dulu Terlihat Lebih Sederhana?	3
1.1	Gerak lurus satu dimensi	3
1.2	Gerak melingkar beraturan	3
2	Koordinat Polar dan Vektor Satuan	4
3	Turunan Vektor Satuan	5
4	Kecepatan dalam Koordinat Polar	5
5	Percepatan dalam Koordinat Polar	6
6	Hukum Newton II dalam Koordinat Polar	7

7 Empat Suku Percepatan	7
7.1 Percepatan radial linear	8
7.2 Percepatan sentripetal	8
7.3 Percepatan tangensial	9
7.4 Percepatan Coriolis	9
8 Ringkasan Kasus Khusus	10
8.1 Gerak lurus satu dimensi	10
8.2 Gerak melingkar beraturan	10
8.3 Gerak melingkar tidak beraturan	11
9 Catatan tentang Gaya Sentrifugal	11
10 Kesimpulan Akhir	12
A Aplikasi: Analisis Gerakan TikTok “Scuba” / “Kicau Mania”	13
A.1 Cuplikan Gerakan dari GIF	13
A.2 Gerakan Pusat Massa Tubuh	14
A.3 Gerakan Tangan atau Kaki sebagai Gerakan Polar	15
A.4 Empat Suku Percepatan pada Gerakan Mengayun	16
A.5 Apakah Gerakan Ini Punya Semua Kecepatan?	17
A.6 Catatan Penting untuk Konten	18

Catatan Bantuan AI

Dokumen ini disusun oleh Giodanno Limin dengan bantuan ChatGPT. Giodanno memberikan ide utama, meminta revisi, memilih arah penjelasan, dan memeriksa konsep-konsep penting. ChatGPT membantu membuat draf penjelasan, menulis derivasi, menyusun kode LaTeX, serta membuat gambar TikZ.

Dengan demikian, ChatGPT tidak dicantumkan sebagai penulis utama, tetapi dicantumkan sebagai alat bantu penulisan dan penyusunan. Kesalahan atau kekurangan yang masih ada sebaiknya diperiksa ulang sebelum dokumen ini dipublikasikan atau digunakan sebagai bahan ajar.

1 Intuisi SMP: Kenapa Dulu Terlihat Lebih Sederhana?

Di SMP, kita sering belajar gerak lurus dan gerak melingkar sederhana. Dalam koordinat polar, keduanya sebenarnya adalah kasus khusus dari rumus yang lebih umum.

1.1 Gerak lurus satu dimensi

Kalau benda bergerak lurus sepanjang satu garis dan kita memilih garis itu sebagai arah radial, maka sudutnya tetap. Artinya,

$$\theta = \text{konstan.}$$

Maka,

$$\dot{\theta} = 0, \quad \ddot{\theta} = 0.$$

Akibatnya, semua suku yang mengandung $\dot{\theta}$ atau $\ddot{\theta}$ hilang. Percepatan tinggal

$$\vec{a} = \ddot{r}\hat{r}.$$

Jadi benar: untuk gerak lurus satu dimensi yang arahnya tetap, $\dot{\theta}$ dan $\ddot{\theta}$ sama-sama nol.

Catatan penting: kalau gerak lurus tidak melewati titik asal yang kita pilih, maka θ bisa berubah. Tetapi untuk model gerak lurus SMP, biasanya kita memilih sumbu gerak sehingga sudutnya tetap.

1.2 Gerak melingkar beraturan

Di SMP, kita juga belajar gerak melingkar beraturan. Dalam kasus ini, jari-jari tetap:

$$r = \text{konstan}, \quad \dot{r} = 0, \quad \ddot{r} = 0.$$

Benda tetap berputar, jadi biasanya

$$\dot{\theta} \neq 0.$$

Namun karena geraknya beraturan, kecepatan sudutnya konstan, sehingga

$$\ddot{\theta} = 0.$$

Maka percepatannya menjadi

$$\vec{a} = -r\dot{\theta}^2\hat{r}.$$

Ini adalah percepatan sentripetal. Jadi benar juga: pada gerak melingkar beraturan, ada $\dot{\theta}$, tetapi $\ddot{\theta} = 0$.

Kalau kecepatan sudutnya berubah, barulah $\ddot{\theta} \neq 0$, dan muncul percepatan tangensial.

2 Koordinat Polar dan Vektor Satuan

Dalam koordinat Kartesius, posisi titik adalah

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta.$$

Maka vektor posisi adalah

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j}.$$

Substitusi x dan y :

$$\vec{r} = r \cos \theta \hat{i} + r \sin \theta \hat{j}.$$

Faktorkan r :

$$\vec{r} = r(\cos \theta \hat{i} + \sin \theta \hat{j}).$$

Kita definisikan vektor satuan radial sebagai

$$\hat{r} = \cos \theta \hat{i} + \sin \theta \hat{j}.$$

Jadi posisi dapat ditulis

$$\vec{r} = r\hat{r}.$$

Di sini, r adalah jarak dari pusat, sedangkan \hat{r} adalah arah keluar dari pusat.

Vektor satuan tangensial adalah

$$\hat{\theta} = -\sin \theta \hat{i} + \cos \theta \hat{j}.$$

Vektor $\hat{\theta}$ tegak lurus terhadap \hat{r} dan menunjuk ke arah bertambahnya θ .

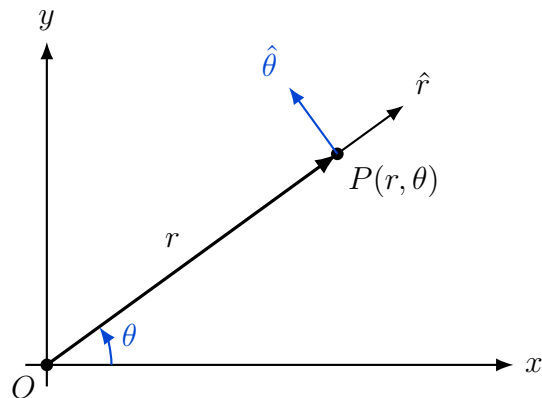


Figure 1: Vektor satuan polar. Vektor \hat{r} tepat segaris dengan r , sedangkan $\hat{\theta}$ tegak lurus terhadap \hat{r} .

3 Turunan Vektor Satuan

Perbedaan utama antara koordinat Kartesius dan polar adalah vektor satuannya. Dalam koordinat Kartesius, \hat{i} dan \hat{j} tetap. Tetapi dalam koordinat polar, \hat{r} dan $\hat{\theta}$ ikut berputar ketika θ berubah.

Mulai dari

$$\hat{r} = \cos \theta \hat{i} + \sin \theta \hat{j}.$$

Turunkan terhadap waktu:

$$\dot{\hat{r}} = -\sin \theta \dot{\theta} \hat{i} + \cos \theta \dot{\theta} \hat{j}.$$

Faktorkan $\dot{\theta}$:

$$\dot{\hat{r}} = \dot{\theta}(-\sin \theta \hat{i} + \cos \theta \hat{j}).$$

Karena

$$-\sin \theta \hat{i} + \cos \theta \hat{j} = \hat{\theta},$$

maka

$$\boxed{\dot{\hat{r}} = \dot{\theta} \hat{\theta}.}$$

Sekarang mulai dari

$$\hat{\theta} = -\sin \theta \hat{i} + \cos \theta \hat{j}.$$

Turunkan:

$$\dot{\hat{\theta}} = -\cos \theta \dot{\theta} \hat{i} - \sin \theta \dot{\theta} \hat{j}.$$

Faktorkan $-\dot{\theta}$:

$$\dot{\hat{\theta}} = -\dot{\theta}(\cos \theta \hat{i} + \sin \theta \hat{j}).$$

Karena

$$\cos \theta \hat{i} + \sin \theta \hat{j} = \hat{r},$$

maka

$$\boxed{\dot{\hat{\theta}} = -\dot{\theta} \hat{r}.}$$

Jadi rumus pentingnya adalah

$$\boxed{\dot{\hat{r}} = \dot{\theta} \hat{\theta}, \quad \dot{\hat{\theta}} = -\dot{\theta} \hat{r}.}$$

4 Kecepatan dalam Koordinat Polar

Vektor posisi adalah

$$\vec{r} = r \hat{r}.$$

Kecepatan adalah turunan posisi:

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \frac{d}{dt}(r \hat{r}).$$

Gunakan aturan perkalian:

$$\vec{v} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\hat{r}}.$$

Karena

$$\dot{\hat{r}} = \dot{\theta}\hat{\theta},$$

maka

$$\boxed{\vec{v} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}.}$$

Maknanya:

$$\dot{r}\hat{r}$$

adalah kecepatan radial, yaitu gerak mendekat atau menjauh dari pusat.

Sedangkan

$$r\dot{\theta}\hat{\theta}$$

adalah kecepatan tangensial, yaitu gerak mengelilingi pusat.

5 Percepatan dalam Koordinat Polar

Percepatan adalah turunan kecepatan:

$$\vec{a} = \dot{\vec{v}}.$$

Dengan rumus kecepatan,

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}(\dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}).$$

Turunkan setiap bagian.

Pertama,

$$\frac{d}{dt}(\dot{r}\hat{r}) = \ddot{r}\hat{r} + \dot{r}\dot{\hat{r}}.$$

Karena $\dot{\hat{r}} = \dot{\theta}\hat{\theta}$, maka

$$\frac{d}{dt}(\dot{r}\hat{r}) = \ddot{r}\hat{r} + \dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta}.$$

Kedua,

$$\frac{d}{dt}(r\dot{\theta}\hat{\theta}) = \frac{d}{dt}(r\dot{\theta})\hat{\theta} + r\dot{\theta}\dot{\hat{\theta}}.$$

Karena

$$\frac{d}{dt}(r\dot{\theta}) = \dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}$$

dan

$$\dot{\hat{\theta}} = -\dot{\theta}\hat{r},$$

maka

$$\frac{d}{dt}(r\dot{\theta}\hat{\theta}) = (\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta} - r\dot{\theta}^2\hat{r}.$$

Gabungkan dua hasil tersebut:

$$\vec{a} = \ddot{r}\hat{r} + \dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta} + (\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta} - r\dot{\theta}^2\hat{r}.$$

Kelompokkan suku \hat{r} dan $\hat{\theta}$:

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}.$$

6 Hukum Newton II dalam Koordinat Polar

Hukum Newton II adalah

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}.$$

Substitusi rumus percepatan polar:

$$\sum \vec{F} = m [(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}].$$

Jadi,

$$\sum \vec{F} = m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}.$$

Komponen radialnya:

$$\sum F_r = m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2).$$

Komponen sudut atau tangensialnya:

$$\sum F_\theta = m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}).$$

7 Empat Suku Percepatan

Percepatan dapat dipisah menjadi empat bagian:

$$\vec{a} = \ddot{r}\hat{r} - r\dot{\theta}^2\hat{r} + r\ddot{\theta}\hat{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta}.$$

Jadi,

$$\vec{a} = \underbrace{\ddot{r}\hat{r}}_{\text{radial linear}} + \underbrace{(-r\dot{\theta}^2\hat{r})}_{\text{sentripetal}} + \underbrace{r\ddot{\theta}\hat{\theta}}_{\text{tangensial}} + \underbrace{2\dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta}}_{\text{Coriolis}}.$$

7.1 Percepatan radial linear

$$\vec{a}_{\text{radial}} = \ddot{r}\hat{r}.$$

Suku ini muncul karena jarak benda dari pusat berubah. Jika $\ddot{r} > 0$, percepatan mengarah keluar. Jika $\ddot{r} < 0$, percepatan mengarah ke dalam.

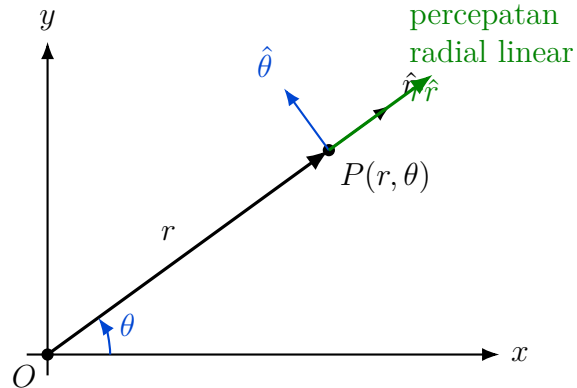


Figure 2: Percepatan radial linear. Panah hijau tepat searah dengan \hat{r} .

7.2 Percepatan sentripetal

$$\vec{a}_{\text{sentripetal}} = -r\dot{\theta}^2\hat{r}.$$

Karena \hat{r} mengarah keluar, tanda negatif berarti percepatan mengarah ke dalam, menuju pusat. Suku ini membuat lintasan benda terus melengkung.

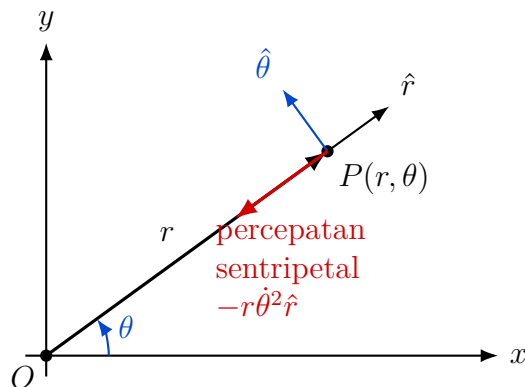


Figure 3: Percepatan sentripetal. Panah merah tepat berlawanan arah dengan \hat{r} , sehingga menunjuk ke pusat.

7.3 Percepatan tangensial

$$\vec{a}_{\text{tangensial}} = r\ddot{\theta}\hat{\theta}.$$

Suku ini muncul ketika kecepatan sudut berubah. Jika $\ddot{\theta} > 0$, benda dipercepat dalam arah $\hat{\theta}$. Jika $\ddot{\theta} < 0$, percepatan berlawanan arah dengan $\hat{\theta}$.

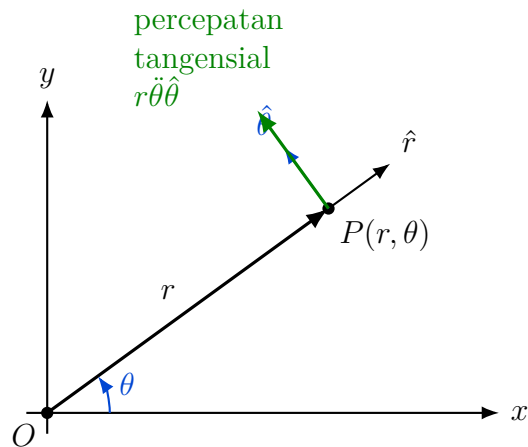


Figure 4: Percepatan tangensial. Panah hijau tepat searah dengan $\hat{\theta}$.

7.4 Percepatan Coriolis

$$\vec{a}_{\text{Coriolis}} = 2\dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta}.$$

Suku ini muncul ketika benda sedang berubah jarak dari pusat sambil berputar. Jadi suku ini ada hanya jika

$$\dot{r} \neq 0 \quad \text{dan} \quad \dot{\theta} \neq 0.$$

Karena dikalikan dengan $\hat{\theta}$, percepatan Coriolis sepenuhnya bersifat tangensial. Tidak ada komponen radial pada suku ini.

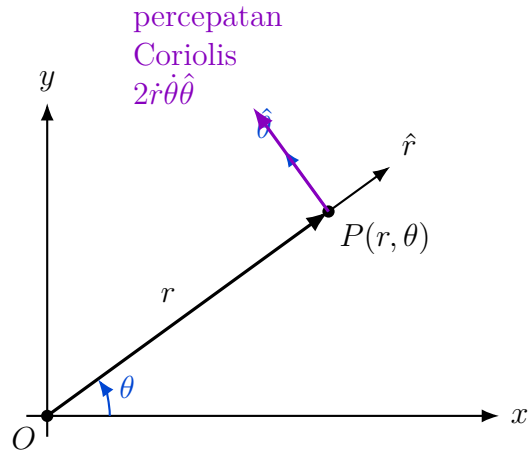


Figure 5: Percepatan Coriolis. Panah ungu tepat searah dengan $\hat{\theta}$, sehingga suku Coriolis murni tangensial.

8 Ringkasan Kasus Khusus

8.1 Gerak lurus satu dimensi

Pilih sumbu gerak sebagai arah radial. Maka

$$\theta = \text{konstan}, \quad \dot{\theta} = 0, \quad \ddot{\theta} = 0.$$

Rumus percepatan polar menjadi

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r \cdot 0^2)\hat{r} + (r \cdot 0 + 2\dot{r} \cdot 0)\hat{\theta}.$$

Jadi,

$$\boxed{\vec{a} = \ddot{r}\hat{r}.}$$

Inilah bentuk gerak lurus yang biasa dipakai di SMP:

$$\sum F = m\ddot{r}.$$

8.2 Gerak melingkar beraturan

Untuk gerak melingkar beraturan,

$$r = \text{konstan}, \quad \dot{r} = 0, \quad \ddot{r} = 0,$$

dan

$$\dot{\theta} = \text{konstan} \neq 0, \quad \ddot{\theta} = 0.$$

Maka

$$\vec{a} = (0 - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (r \cdot 0 + 2 \cdot 0 \cdot \dot{\theta})\hat{\theta}.$$

Jadi,

$$\boxed{\vec{a} = -r\dot{\theta}^2\hat{r}.}$$

Ini adalah percepatan sentripetal.

8.3 Gerak melingkar tidak beraturan

Jika jari-jari tetap tetapi kecepatan sudut berubah, maka

$$r = \text{konstan}, \quad \dot{r} = 0, \quad \ddot{r} = 0,$$

tetapi

$$\ddot{\theta} \neq 0.$$

Maka

$$\vec{a} = -r\dot{\theta}^2\hat{r} + r\ddot{\theta}\hat{\theta}.$$

Artinya ada dua percepatan: sentripetal ke arah pusat dan tangensial searah $\hat{\theta}$ atau berlawanan $\hat{\theta}$.

9 Catatan tentang Gaya Sentrifugal

Suku

$$-r\dot{\theta}^2\hat{r}$$

adalah percepatan sentripetal dalam kerangka inersial. Arahnya ke dalam.

Kalau persamaan radial ditulis

$$\sum F_r = m\ddot{r} - mr\dot{\theta}^2,$$

kita bisa susun ulang menjadi

$$m\ddot{r} = \sum F_r + mr\dot{\theta}^2.$$

Suku

$$mr\dot{\theta}^2$$

terlihat seperti gaya ke luar. Ini sering disebut gaya sentrifugal. Tetapi dalam kerangka inersial, itu bukan gaya nyata. Itu adalah gaya semu yang muncul ketika kita menganalisis dari kerangka yang ikut berputar.

10 Kesimpulan Akhir

Bentuk lengkap percepatan dalam koordinat polar adalah

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}.$$

Dengan Hukum Newton II,

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}.$$

Maka bentuk lengkap Hukum Newton II dalam koordinat polar adalah

$$\sum \vec{F} = m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}.$$

Komponen-komponennya adalah

$$\sum F_r = m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)$$

dan

$$\sum F_\theta = m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}).$$

Jadi jawaban singkat untuk pertanyaan SMP tadi adalah:

- Gerak lurus satu dimensi: $\dot{\theta} = 0$ dan $\ddot{\theta} = 0$.
- Gerak melingkar beraturan: $\dot{\theta} \neq 0$, tetapi $\ddot{\theta} = 0$.
- Gerak melingkar tidak beraturan: $\dot{\theta} \neq 0$ dan $\ddot{\theta} \neq 0$.
- Gerak polar umum: semua suku bisa muncul, termasuk $2\dot{r}\dot{\theta}$.

A Aplikasi: Analisis Gerakan TikTok “Scuba” / “Ki-cau Mania”

Appendix ini menjelaskan bagaimana gerakan pada GIF dapat digunakan sebagai contoh intuitif untuk Hukum Newton II. Analisis ini bersifat kualitatif, bukan pengukuran numerik yang presisi, karena kita tidak mengukur posisi setiap frame secara manual. Tetapi secara konsep, gerakan ini sangat cocok untuk menjelaskan hubungan antara posisi, kecepatan, percepatan, dan gaya.

Ide utamanya adalah:

$$\boxed{\sum \vec{F} = m\vec{a}.}$$

Jadi, Hukum Newton II bukan langsung tentang kecepatan, tetapi tentang percepatan. Kecepatan penting karena percepatan adalah perubahan kecepatan terhadap waktu:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Jika kecepatan berubah besar atau arahnya, maka ada percepatan. Jika ada percepatan, maka harus ada gaya total yang bekerja.

A.1 Cuplikan Gerakan dari GIF

Gambar berikut adalah cuplikan beberapa frame dari GIF yang dianalisis. Gerakannya terlihat seperti tubuh bergoyang, sedikit naik-turun, dan lengan/kaki bergerak melingkar atau mengayun.



Figure 6: Cuplikan frame dari gerakan TikTok yang dianalisis secara kualitatif.

Dari sudut pandang fisika, gerakan ini bisa dipisahkan menjadi dua bagian besar:

1. gerakan pusat massa tubuh, misalnya bergeser ke kiri-kanan dan naik-turun;
2. gerakan anggota tubuh, misalnya tangan atau kaki yang mengayun relatif terhadap bahu atau pinggul.

A.2 Gerakan Pusat Massa Tubuh

Misalkan pusat massa karakter berada di titik

$$\vec{R}(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j}.$$

Maka kecepatannya adalah

$$\vec{V}(t) = \dot{x}(t)\hat{i} + \dot{y}(t)\hat{j},$$

dan percepatannya adalah

$$\vec{A}(t) = \ddot{x}(t)\hat{i} + \ddot{y}(t)\hat{j}.$$

Dengan Hukum Newton II,

$$\sum \vec{F} = m\vec{A},$$

sehingga

$$\boxed{\sum F_x = m\ddot{x}}$$

dan

$$\boxed{\sum F_y = m\ddot{y}.}$$

Artinya, saat tubuh bergoyang ke kanan dan kiri, ada percepatan horizontal. Gaya horizontal ini biasanya berasal dari gaya gesek dengan lantai. Saat tubuh sedikit naik atau turun, ada percepatan vertikal. Secara sederhana,

$$\boxed{N - mg = m\ddot{y},}$$

dengan N adalah gaya normal dari lantai dan mg adalah berat tubuh.

Jika tubuh dipercepat ke atas, maka

$$N > mg.$$

Jika tubuh dipercepat ke bawah, maka

$$N < mg.$$

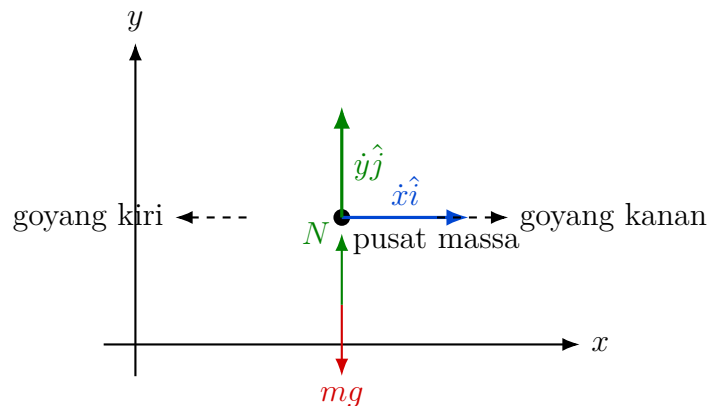


Figure 7: Model sederhana gerakan pusat massa: ada komponen horizontal dan vertikal.

A.3 Gerakan Tangan atau Kaki sebagai Gerakan Polar

Untuk tangan atau kaki yang mengayun, lebih natural memakai koordinat polar. Misalnya kita melihat satu tangan relatif terhadap bahu. Ambil bahu sebagai pusat. Posisi tangan dapat ditulis sebagai

$$\vec{r} = r\hat{r}.$$

Kecepatan tangan adalah

$$\vec{v} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}.$$

Jadi benar bahwa gerakan seperti ini bisa memiliki beberapa jenis kecepatan:

- $\dot{r}\hat{r}$: kecepatan radial, yaitu tangan mendekat atau menjauh dari bahu;
- $r\dot{\theta}\hat{\theta}$: kecepatan tangensial, yaitu tangan mengayun mengelilingi bahu;
- $\dot{x}\hat{i} + \dot{y}\hat{j}$: kecepatan pusat massa tubuh dalam koordinat Kartesius.

Namun untuk Hukum Newton II, bagian yang lebih penting adalah percepatan:

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}.$$

Maka gaya total pada tangan atau kaki secara polar adalah

$$\sum \vec{F} = m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}.$$

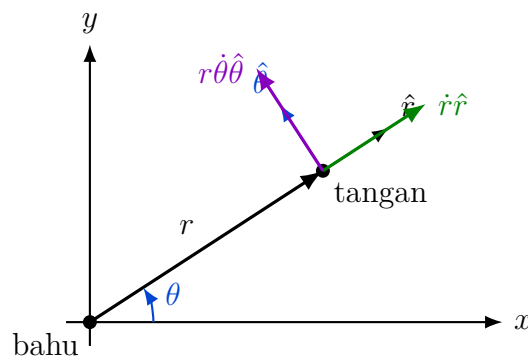


Figure 8: Kecepatan tangan dapat dipisahkan menjadi kecepatan radial dan tangensial.

A.4 Empat Suku Percepatan pada Gerakan Mengayun

Dari rumus lengkap,

$$\vec{a} = \ddot{r}\hat{r} - r\dot{\theta}^2\hat{r} + r\ddot{\theta}\hat{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta},$$

ada empat jenis percepatan yang bisa muncul.

1. Percepatan radial linear

$$\ddot{r}\hat{r}.$$

Ini muncul jika jarak tangan dari bahu berubah dengan percepatan. Misalnya tangan sedang didorong menjauh atau ditarik mendekat.

2. Percepatan sentripetal

$$\boxed{-r\dot{\theta}^2\hat{r}}.$$

Ini muncul karena tangan bergerak pada lintasan melengkung. Walaupun besar kecepataannya konstan, jika arah gerakannya berubah, tetap ada percepatan. Arahnya menuju pusat putaran, yaitu ke arah bahu.

3. Percepatan tangensial

$$\boxed{r\ddot{\theta}\hat{\theta}}.$$

Ini muncul jika kecepatan sudut berubah. Dalam gerakan dance, ayunan tangan biasanya tidak memiliki kecepatan sudut yang benar-benar konstan. Ada bagian yang mempercepat dan ada bagian yang melambat.

4. Percepatan Coriolis

$$\boxed{2\dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta}}.$$

Ini muncul jika tangan bergerak mendekat/menjauh dari bahu sambil tetap mengayun. Syaratnya:

$$\dot{r} \neq 0$$

dan

$$\dot{\theta} \neq 0.$$

Jika salah satu nol, maka suku Coriolis hilang.

A.5 Apakah Gerakan Ini Punya Semua Kecepatan?

Secara konsep, iya. Gerakan seperti ini bisa digunakan untuk menunjukkan banyak jenis kecepatan:

$$\dot{x}, \quad \dot{y}, \quad \dot{r}, \quad \dot{\theta}, \quad r\dot{\theta}.$$

Tetapi kalimat yang lebih tepat untuk Hukum Newton II adalah:

Gerakan ini memiliki banyak kecepatan yang berubah-ubah. Karena besar dan arah kecepatan berubah, maka ada percepatan. Menurut Hukum Newton II, percepatan itu terjadi karena ada gaya total: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$.

Jadi, kalau ingin dijadikan konten, pesan utamanya bisa dibuat seperti ini:

Gerakan lucu ini penuh fisika. Saat tubuh atau tangan berubah arah atau berubah kecepatan, berarti kecepatannya berubah. Perubahan kecepatan adalah percepatan. Dan menurut Hukum Newton II, percepatan muncul karena ada gaya total: $\sum F = ma$.

A.6 Catatan Penting untuk Konten

Jika ingin menjelaskan di video pendek, jangan bilang bahwa gaya disebabkan oleh kecepatan. Lebih tepat bilang:

gaya total menyebabkan percepatan, bukan kecepatan konstan.

Kecepatan konstan tanpa perubahan arah berarti percepatan nol, sehingga gaya totalnya nol. Tetapi pada gerakan dance, arah dan besar kecepatan terus berubah, sehingga percepatan dan gaya total terus berubah.