

Materi Dasar untuk Perancangan Mekanisme Robot: Kinematika dan Dinamika

Dalam merancang mekanisme robot, penting untuk memahami bagaimana gaya, kecepatan, percepatan, dan energi berinteraksi dalam sistem. Materi ini akan menjelaskan konsep dasar serta konsep apa saja yang digunakan dalam analisis dan perhitungan mekanisme robot.

1. Gerak Linear

Gerak linear adalah pergerakan benda dalam satu garis lurus. Ada tiga jenis utama :

1.1 Gerak Lurus Beraturan (GLB)

GLB terjadi ketika benda bergerak dengan kecepatan konstan tanpa percepatan. Konsep ini berguna untuk memahami pergerakan robot yang melaju dengan kecepatan tetap. Digunakan dalam analisis mekanisme yang bergerak dalam lintasan lurus tanpa adanya perubahan kecepatan, misalnya conveyor yang berjalan konstan.

Parameter yang dibutuhkan:

- Kecepatan
- Jarak tempuh
- Waktu

1.2 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

GLBB terjadi ketika benda mengalami percepatan konstan. Ini berguna dalam desain robot untuk menganalisis bagaimana perubahan kecepatan terjadi akibat pengaruh gaya luar. Digunakan dalam analisis mekanisme seperti aktuator linier yang mempercepat atau memperlambat pergerakan robot.

Parameter yang dibutuhkan:

- Kecepatan awal dan akhir
- Percepatan
- Waktu
- Jarak tempuh

1.3 Gerak Parabola

Gerak ini terjadi ketika suatu benda bergerak dalam lintasan melengkung akibat kombinasi gerak horizontal dengan gerak vertikal yang dipengaruhi gravitasi. Dalam mekanisme pelontar bola, gerak parabola sangat penting untuk menentukan lintasan bola yang optimal. Penting untuk analisis lintasan bola saat dilempar atau dipantulkan oleh mekanisme robot.

Parameter yang dibutuhkan:

- Kecepatan awal
- Sudut lemparan
- Gravitasi

2. Gerak Rotasi

Gerak rotasi terjadi ketika suatu benda bergerak mengelilingi sumbu tetap.

2.1 Gerak Melingkar Beraturan (GMB)

Gerak benda dalam lintasan melingkar dengan kecepatan sudut konstan. Digunakan dalam analisis perputaran roda, gear, dan motor. ini sering diterapkan dalam roda atau roller pada mekanisme pelontar.

2.2 Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBb)

Benda mengalami perubahan kecepatan sudut akibat pengaruh gaya. Ini digunakan untuk memahami bagaimana motor mengubah kecepatan putaran roller atau roda. Digunakan untuk analisis sistem rotasi yang mengalami perubahan kecepatan seperti roda yang dipercepat atau diperlambat.

3. Hukum Newton

Hukum Newton menjelaskan hubungan antara gaya dan gerak benda.

3.1 Hukum I Newton (Inersia)

Menjelaskan bahwa benda tetap diam atau bergerak dengan kecepatan tetap kecuali ada gaya luar yang bekerja padanya. Digunakan untuk memahami keseimbangan dan stabilitas mekanisme robot.

3.2 Hukum II Newton ($F = ma$)

Gaya yang bekerja pada benda berbanding lurus dengan massa dan percepatan yang dihasilkan. Penting untuk menentukan gaya yang dibutuhkan oleh aktuator atau motor dalam menggerakkan mekanisme.

3.3 Hukum III Newton

Setiap aksi memiliki reaksi yang sama besar tetapi berlawanan arah. Digunakan dalam analisis gaya kontak, seperti saat roda robot menyentuh lantai. Dalam desain pelontar bola, gaya yang diberikan ke bola juga memengaruhi roller.

4. Gaya

Gaya adalah interaksi yang dapat menyebabkan perubahan gerak.

4.1 Gaya Gesek

Gaya yang menghambat gerakan akibat kontak dengan permukaan. Penting dalam memilih roda dan material kontak agar pergerakan optimal. Dalam robot, gaya gesek antara roda dan permukaan mempengaruhi traksi.

4.2 Gaya Elastis

Gaya yang muncul akibat deformasi benda elastis. Ini digunakan dalam pegas atau bantalan karet pada mekanisme robot.

Gaya yang bekerja pada benda elastis seperti pegas atau karet. Digunakan dalam perancangan mekanisme yang membutuhkan sistem peredam kejut.

4.3 Gaya Normal

Gaya yang diberikan oleh permukaan pada benda yang bersentuhan dengannya. Digunakan dalam perhitungan gaya yang bekerja pada roda robot.

Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan. Dalam mekanisme pelontar, gaya normal mempengaruhi tekanan bola pada roller.

4.4 Gaya Gravitasi

Gaya tarik-menarik antara benda dengan bumi. Digunakan dalam menentukan gaya yang harus diimbangi oleh aktuator atau motor agar mekanisme tetap stabil. Dalam pelontaran bola, gravitasi menentukan lintasan bola.

4.5 Gaya Sentrifugal

Gaya yang timbul saat benda bergerak melingkar, bekerja menjauhi pusat rotasi. Ini penting dalam perhitungan keseimbangan saat robot berbelok. Digunakan untuk menganalisis stabilitas mekanisme yang bergerak melingkar seperti roda robot.

4.6 Gaya Koriolis

Gaya semu yang timbul akibat rotasi referensi. Digunakan dalam analisis sistem navigasi robot bergerak. Biasanya tidak berpengaruh besar dalam sistem robot kecil.

4.7 Gaya Hambatan Udara

Gaya yang menghambat pergerakan akibat interaksi dengan udara. Relevan untuk perancangan robot yang bergerak dengan kecepatan tinggi. Ini mempengaruhi lintasan bola setelah ditembakkan.

5. Energi dan Daya

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja, sedangkan daya adalah laju energi yang digunakan.

5.1 Energi Potensial

Energi yang tersimpan akibat posisi benda. Digunakan dalam mekanisme lifting atau pegas.

5.2 Energi Kinetik Translasi dan Rotasi

Energi kinetik translasi terkait dengan gerak linear, sementara energi kinetik rotasi terkait dengan gerak putar. Ini digunakan dalam perhitungan energi roller atau roda robot. Digunakan dalam analisis pergerakan robot dan komponen mekanik.

5.3 Hukum Konservasi Energi

Energi dalam sistem tertutup tetap konstan. Digunakan untuk memahami efisiensi energi dalam mekanisme robot. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya dapat diubah bentuknya. Ini penting dalam efisiensi mekanisme.

6. Impuls dan Momentum

Momentum adalah hasil kali massa dan kecepatan suatu benda, sedangkan impulse adalah perubahan momentum akibat gaya eksternal.

6.1 Impuls

Perubahan momentum akibat gaya dalam selang waktu tertentu. Digunakan dalam perancangan mekanisme benturan. Atau bisa juga diartikan : Impulse adalah gaya yang bekerja dalam waktu tertentu dan menyebabkan perubahan momentum. Ini penting dalam mekanisme pelontar bola.

6.2 Momentum Linear dan Angular

Momentum adalah hasil kali massa dan kecepatan benda (linear) atau momen inersia dan kecepatan sudut (angular). Digunakan dalam mekanisme tabrakan dan rotasi. Momentum linear berlaku dalam gerakan lurus, sedangkan momentum angular berlaku dalam gerakan rotasi. Dalam sistem roller, momentum angular menentukan bagaimana energi ditransfer ke bola.

6.3 Hukum Kekekalan Momentum

Momentum total sistem sebelum dan sesudah interaksi tetap sama jika tidak ada gaya eksternal. Ini digunakan untuk menghitung perubahan kecepatan bola setelah bersentuhan dengan roller. Digunakan dalam analisis interaksi robot dengan objek lain.

7. Tekanan

Tekanan adalah gaya per satuan luas. Digunakan dalam perancangan sistem pneumatik dan hidrolik. Dalam mekanisme pelontar, tekanan antara bola dan roller mempengaruhi efisiensi transfer energi.

8. Momen Inersia dan Torsi

- Momen inersia menunjukkan kecenderungan benda untuk menolak perubahan gerak rotasi. Semakin besar momen inersia, semakin sulit benda berputar. Ini digunakan dalam perhitungan kecepatan dan torsi roller.
- Torsi adalah besaran yang menyebabkan rotasi. Digunakan untuk menentukan spesifikasi motor dan aktuator dalam perancangan robot. Dalam desain roller, torsi yang cukup diperlukan untuk mencapai kecepatan rotasi yang diinginkan.

9. Efisiensi Mekanisme

Efisiensi adalah perbandingan energi output dengan energi input dalam suatu sistem. Digunakan untuk menentukan seberapa efektif sistem mekanik dalam menggunakan energi yang diberikan.

Analisa Sistem Pelontar

Skenario Sistem:

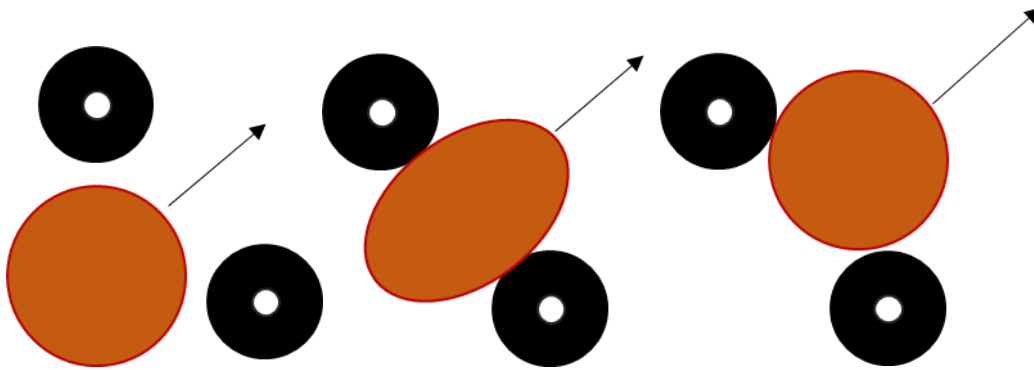
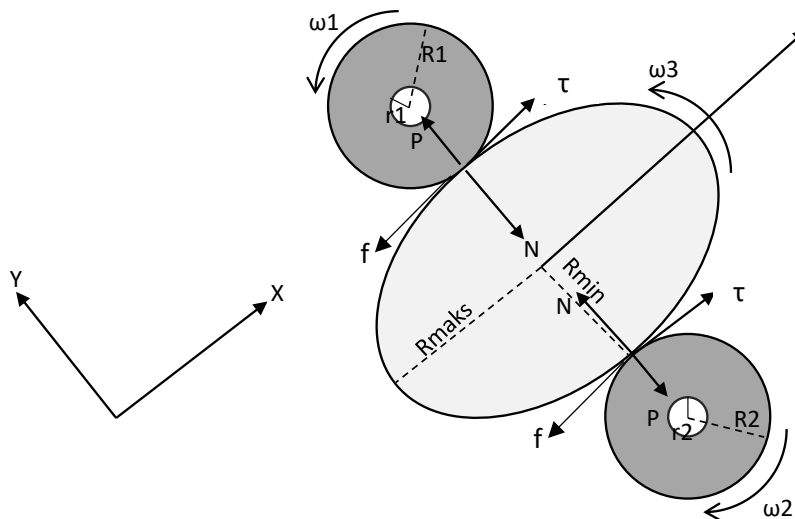


Diagram Benda Bebas :



Saat sistem bekerja, bola akan dimasukan ke dalam celah diantara dua roller. Maka saat itu, bola akan mengalami deformasi sebanyak sekian luas kontak, bola berbahan dasar karet sehingga memiliki elastisitas maka dari itu gaya tekan bola akibat deformasi akan muncul, sehingga nilai gaya kontak atau gaya normal antara bola dan roller masing-masing adalah nilai dari gaya tekannya.

Untuk menghitung gaya tekan (N) akibat deformasi bola, kita dapat menggunakan teori kontak Hertz (Hertzian contact theory). Teori ini digunakan untuk menghitung deformasi dan gaya normal antara dua benda elastis yang bersentuhan. Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung gaya tekan tersebut:

1. Parameter yang Dibutuhkan

- Radius bola R_b : 12.1 cm

- Radius efektif roller R_r : Karena ada dua roller dengan radius berbeda, kita dapat menggunakan radius efektif. Jika roller atas dan bawah memiliki radius r_1 dan r_2 , maka radius efektif dihitung sebagai:

$$\frac{1}{R_r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

Untuk roller 1 ($r_1 = 5$ cm) dan roller 2 ($r_2 = 6.25$ cm):

$$\frac{1}{R_r} = \frac{1}{5} + \frac{1}{6.25} = 0.2 + 0.16 = 0.36 \text{ cm}^{-1}$$

$$R_r = \frac{1}{0.36} \approx 2.78 \text{ cm} = 0.0278 \text{ m}$$

- **Modulus elastisitas bola (E_b):** Untuk bola basket, modulus elastisitas biasanya sekitar 1–10 MPa. Kita asumsikan $E_b = 5 \text{ MPa} = 5 \times 10^6 \text{ Pa}$.
- **Modulus elastisitas roller (E_r):** Untuk roller plastik/karet, modulus elastisitas sekitar 1–5 GPa. Kita asumsikan $E_r = 2 \text{ GPa} = 2 \times 10^9 \text{ Pa}$.
- **Poisson's ratio (ν):** Untuk bola karet, $\nu \approx 0.5$. Untuk roller plastik, $\nu \approx 0.3$.

2. Menghitung Modulus Elastisitas Efektif (E^*)

Modulus elastisitas efektif dihitung menggunakan modulus elastisitas dan Poisson's ratio dari kedua bahan:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_b^2}{E_b} + \frac{1 - \nu_r^2}{E_r}$$

Substitusi nilai:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - 0.5^2}{5 \times 10^6} + \frac{1 - 0.3^2}{2 \times 10^9}$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{0.75}{5 \times 10^6} + \frac{0.91}{2 \times 10^9}$$

$$\frac{1}{E^*} = 1.5 \times 10^{-7} + 4.55 \times 10^{-10} \approx 1.50455 \times 10^{-7}$$

$$E^* \approx \frac{1}{1.50455 \times 10^{-7}} \approx 6.65 \times 10^6 \text{ Pa}$$

3. Menghitung Radius Efektif R^*

Radius efektif dihitung menggunakan radius bola dan radius roller:

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_r}$$

Substitusi nilai:

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{0.121} + \frac{1}{0.0278} \approx 8.26 + 36 \approx 44.26 \text{ m}^{-1} \quad [R^* = \frac{1}{44.26} \approx 0.0226 \text{ m}]$$

4. Menghitung Deformasi

Deformasi (δ) dihitung menggunakan teori Hertz:

$$\delta = \left(\frac{9N^2}{16R^*E^{*2}} \right)^{1/3}$$

Namun, karena (N) adalah variabel yang ingin kita cari, kita perlu menyusun ulang persamaan ini. Dari teori Hertz, gaya normal (N) dapat dihitung sebagai:

$$N = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \delta^{3/2}$$

Di sini, (δ) adalah deformasi bola saat bersentuhan dengan roller. Deformasi ini dapat diestimasi berdasarkan tekanan bola (P) dan luas kontak (A):

$$P = \frac{N}{A}$$

Luas kontak (A) dapat dihitung sebagai:

$$A = \pi a^2$$

di mana (a) adalah radius kontak, yang dihitung sebagai:

$$a = \sqrt{R^* \delta}$$

Substitusi (a) ke dalam persamaan luas kontak:

$$A = \pi R^* \delta$$

Sehingga:

$$P = \frac{N}{\pi R^* \delta}$$

Substitusi (N) dari persamaan Hertz:

$$P = \frac{\frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \delta^{3/2}}{\pi R^* \delta}$$

Sederhanakan:

$$P = \frac{4 E^* \sqrt{R^*} \delta^{1/2}}{3 \pi R^*}$$

Selesaikan untuk

$$\delta^{1/2} = \frac{3 \pi R^* P}{4 E^* \sqrt{R^*}}$$

$$\delta = \left(\frac{3 \pi R^* P}{4 E^* \sqrt{R^*}} \right)^2$$

Substitusi nilai:

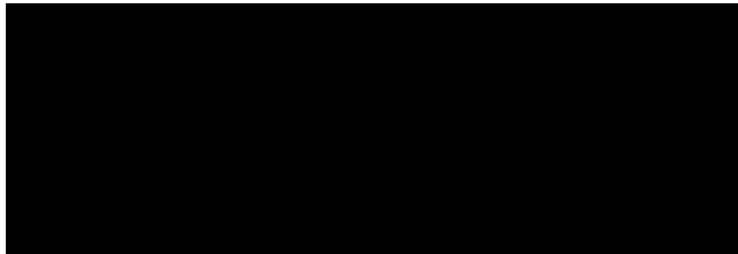


5. Menghitung Gaya Normal (N)

Gunakan persamaan Hertz untuk menghitung gaya normal:

$$N = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \delta^{3/2}$$

Substitusi nilai:



Setelah memperoleh fungsi persamaan gaya normalnya, maka bisa dilakukan perhitungan selanjutnya untuk mendapatkan kecepatan akhir linear dari titik pusat roda serta kecepatan rotasi terhadap titik pusat rodanya.

Setelah memperoleh gaya normal (N), kita dapat melanjutkan untuk menghitung kecepatan linear titik pusat bola (v_b) dan kecepatan rotasi bola terhadap sumbunya (ω_b) ketika bola terlepas dari roller. Berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Parameter yang Diketahui

- Gaya normal (N): 33.25 N (dari perhitungan sebelumnya).
- Koefisien gesek (μ): Asumsikan $\mu=0.7$ (untuk karet dan bola basket).
- Torsi motor (τ): 250 mNm = 0.25 Nm.
- Kecepatan motor (ω_{motor}): 6000 RPM = 628.3 rad/s.
- Radius roller:
 - Roller 1 (r_1): 5 cm = 0.05 m.
 - Roller 2 (r_2): 6.25 cm = 0.0625 m.
- Radius bola (R_b): 12.1 cm = 0.121 m.
- Massa bola (m): 0.6 kg.

2. Menghitung Gaya Gesek (f)

Gaya gesek antara bola dan roller diberikan oleh:

$$f = \mu N$$

Substitusi nilai:

$$f = 0.7 \cdot 33.25 \approx 23.275 \text{ N}$$

3. Menghitung Kecepatan Linear Roller

Kecepatan linear permukaan roller dihubungkan dengan kecepatan sudut motor oleh:

$$v = \omega \cdot r$$

- Roller 1:

$$v_1 = \omega_{motor} \cdot r_1 = 628.3 \cdot 0.05 = 31.415 \text{ m/s}$$

- Roller 2:

$$v_2 = \omega_{motor} \cdot r_2 = 628.3 \cdot 0.0625 = 39.269 \text{ m/s}$$

4. Menghitung Kecepatan Linear Titik Pusat Bola (v_b)

Kecepatan linear titik pusat bola adalah rata-rata kecepatan linear kedua roller:

$$v_b = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Substitusi nilai:

$$v_b = 31.415 + 39.2692 = 35.342 \text{ m/s}$$

5. Menghitung Kecepatan Rotasi Bola (ω_b)

Kecepatan rotasi bola dihitung menggunakan perbedaan kecepatan linear kedua roller:

$$\omega_b = \frac{v_1 + v_2}{2R}$$

Substitusi nilai:

$$\omega_b = 31.415 - 39.2692 \cdot 0.121 = -7.8540.242 \approx -32.45 \text{ rad/s}$$

Tanda negatif menunjukkan arah rotasi yang berlawanan dengan arah putaran roller.

6. Verifikasi dengan Torsi Motor

Torsi motor digunakan untuk memutar roller. Torsi ini harus cukup untuk mengatasi gaya gesek dan memberikan percepatan pada bola.

- Torsi yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya gesek:

$$\tau_{gesek} = f \cdot r_{efektif}$$

Di mana $r_{efektif}$ adalah radius efektif kontak antara bola dan roller. Kita dapat menggunakan $r_{efektif} \approx R_b = 0.121 \text{ m}$:

$$\tau_{gesek} = 23.275 \cdot 0.121 \approx 2.81 \text{ Nm}$$

- **Torsi motor yang tersedia:**

$$\tau_{motor} = 0.25 \text{ Nm}$$

Karena torsi motor (0.25 Nm) jauh lebih kecil daripada torsi yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya gesek (2.81 Nm), motor tidak akan mampu mempertahankan kecepatan roller pada 6000 RPM saat bola berada di antara roller. Oleh karena itu, kecepatan roller akan turun, dan bola akan terlepas dari roller dengan kecepatan yang lebih rendah daripada yang dihitung di atas.

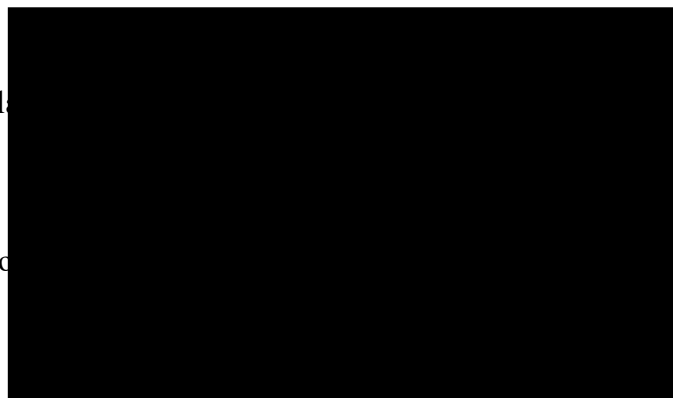
7. Revisi Kecepatan Bola dengan Mempertimbangkan Torsi Motor

Untuk menghitung kecepatan bola yang realistis, kita perlu mempertimbangkan torsi motor yang tersedia.

- **Percepatan sudut roller (α):**

Di mana I_{roller} adalah

Asumsikan massa roller



- **Kecepatan sudut roller saat bola terlepas:**

$$\omega_{roller} = \omega_{motor} - \alpha t$$

Waktu (t) saat bola terlepas dapat dihitung menggunakan persamaan gerak, tetapi untuk penyederhanaan, kita asumsikan bola terlepas saat kecepatan roller turun ke 50% dari kecepatan maksimum:

$$\omega_{rol}$$

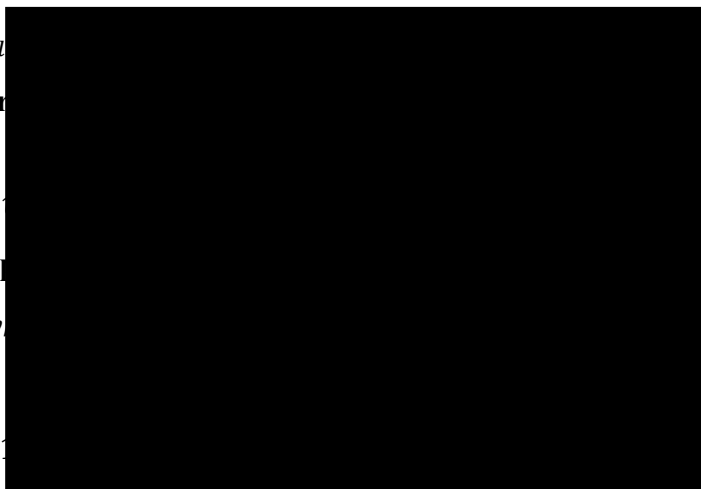
- **Kecepatan linear roller**

- **Kecepatan linear titik pusat bola**

$$v$$

- **Kecepatan rotasi bola:**

$$\omega b =$$



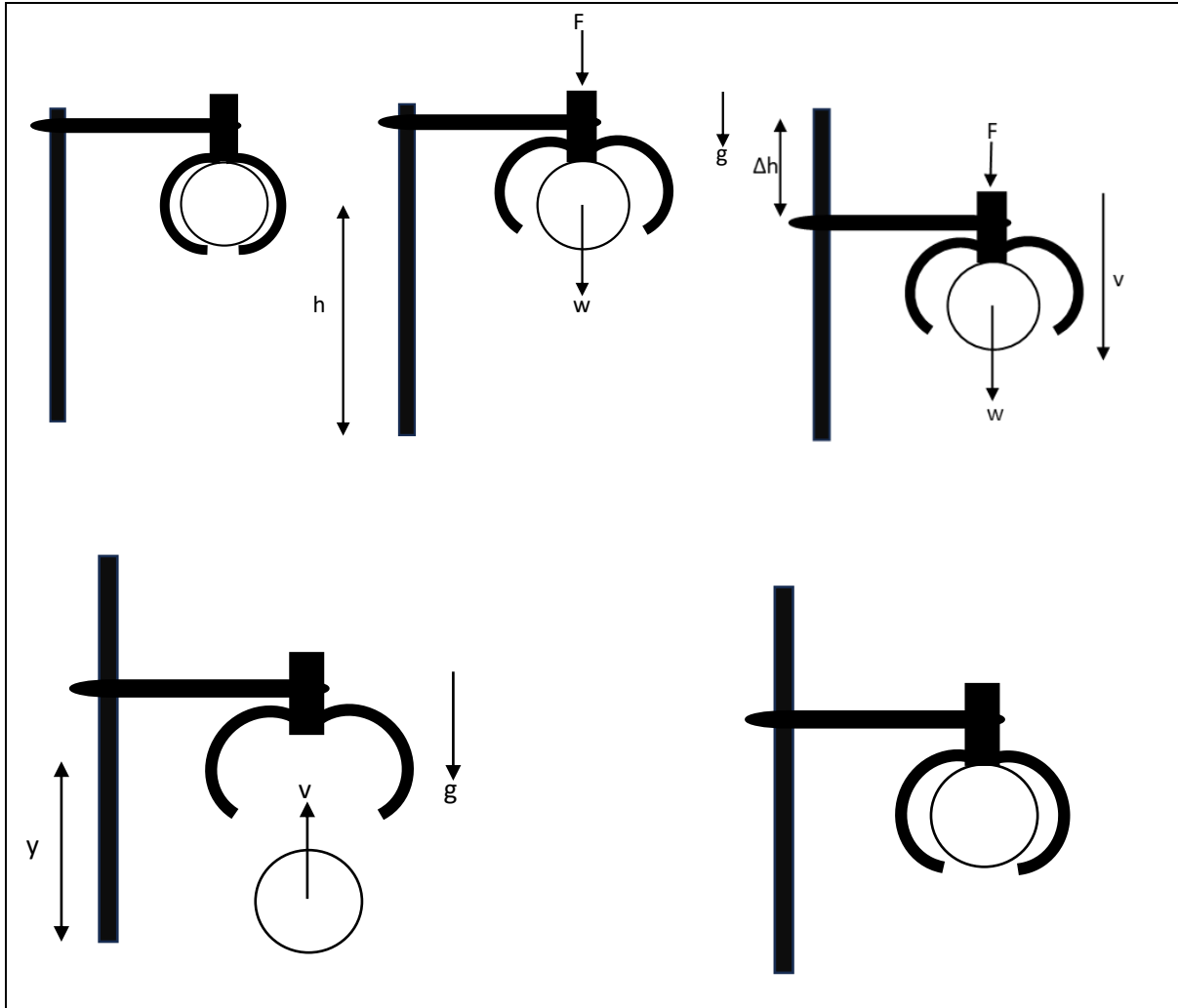
8. Kesimpulan

- Kecepatan linear titik pusat bola saat terlepas dari roller adalah sekitar



- Kecepatan rotasi bola terhadap sumbunya adalah sekitar [REDACTED] (berlawanan arah dengan putaran roller).

Analisa Sistem Dribbling Sederhana



1. Parameter Dasar

- Massa bola (m): 600 g = 0.6 kg.
- Diameter bola (d): 24 cm = 0.24 m.
- Radius bola (R_b): $R_b = \frac{d}{2} = 0.12$ m.
- Tekanan bola (P): 8 psi = 55158 Pa.
- Ketinggian pantulan (h): Minimal 70 cm = 0.7 m.
- Gravitasi (g): 9.81 m/s².

2. Analisis Ketinggian Pantulan

Untuk mencapai ketinggian pantulan 70 cm, bola harus memiliki energi kinetik yang cukup saat meninggalkan lantai. Energi kinetik ini akan diubah menjadi energi potensial gravitasi pada titik tertinggi pantulan.

- Energi potensial pada ketinggian 70 cm:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 0.6 \cdot 9.81 \cdot 0.7 \approx 4.12 \text{ J}$$

- Energi kinetik saat bola meninggalkan lantai:

Pada titik terendah pantulan, energi kinetik bola harus sama dengan energi potensial pada ketinggian 70 cm:

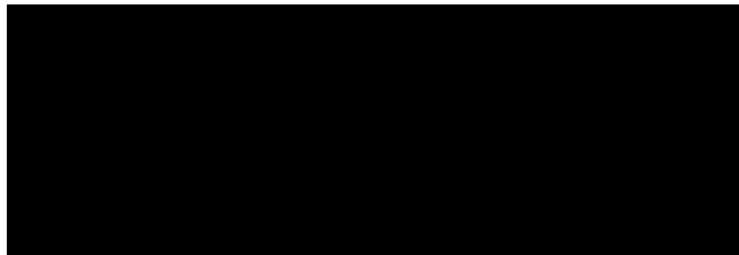
$$E_k = E_p \approx 4.12 \text{ J}$$


3. Kecepatan Bola Saat Meninggalkan Lantai

Energi kinetik bola saat meninggalkan lantai dapat dihubungkan dengan kecepatannya:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Substitusi nilai:



Jadi, bola harus memiliki kecepatan sekitar  saat meninggalkan lantai.

4. Analisis Momentum dan Gaya

Untuk memberikan kecepatan 3.7 m/s pada bola, sistem linear movement harus memberikan impuls yang cukup. Impuls adalah perubahan momentum, yang dihitung sebagai:

$$\Delta p = m \cdot \Delta v$$

- Perubahan momentum (Δp):



- Gaya yang diperlukan (F):

Gaya tergantung pada waktu kontak (Δt) antara sistem linear movement dan bola. Misalkan waktu kontak ($\Delta t = 0.1 \text{ s}$):

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$



5. Perhitungan Kecepatan Linear Movement

Sistem linear movement harus bergerak dengan kecepatan tertentu untuk memberikan impuls yang cukup. Kecepatan ini dapat dihitung menggunakan prinsip kerja-energi:

- Energi yang diberikan oleh sistem linear movement:

$$E = F \cdot d$$

Di mana d adalah jarak perpindahan sistem linear movement. Misalkan ($d = 0.1$ m):

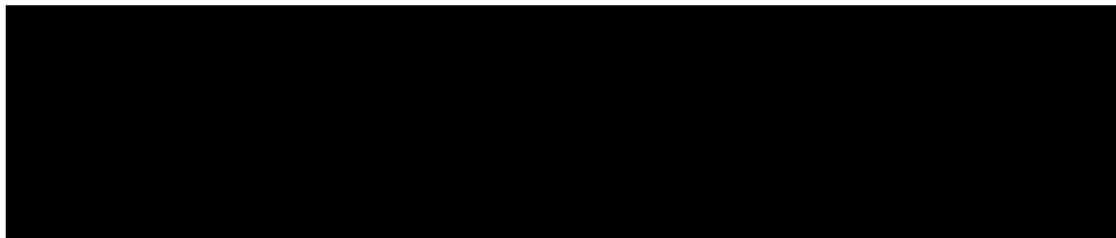


- Kecepatan sistem linear movement (v_{linear}):

Energi kinetik sistem linear movement harus sama dengan energi yang diberikan:

$$E = \frac{1}{2} m_{\text{linear}} v_{\text{linear}}^2$$

Misalkan massa sistem linear movement ($m_{\text{linear}} = 1$ kg):



6. Spesifikasi Motor

Motor harus mampu memberikan torsi dan kecepatan yang cukup untuk menggerakkan sistem linear movement.

- Torsi yang diperlukan (τ):

Torsi dihitung sebagai:

$$\tau = F \cdot r$$

Di mana (r) adalah radius pulley atau roda gigi yang menghubungkan motor ke sistem linear movement. Misalkan ($r = 0.05$ m):

