

Fisika Mekanika Klasik

Proyek Akhir Pusat Massa, Impuls, dan Momentum

Desember 2024

1 Formulasi Pusat Massa

Misalkan tubuh manusia bersifat simetris sempurna, sehingga jika kita analisis pada sistem Kartesius, sumbu $x = 0$ dan sumbu $z = 0$. Oleh karena itu, fokus hanya pada sumbu y .

Pusat massa (COM) tubuh manusia dapat dihitung dengan:

$$\text{COM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

dengan:

- m_i : Massa segmen tubuh ke- i (kg)
- x_i : Posisi segmen tubuh ke- i (m)
- n : Jumlah total segmen tubuh

2 Formulasi BMI

BMI dihitung dengan:

$$\text{BMI} = \frac{m_{\text{total}}}{h^2}$$

dengan:

- m_{total} : Massa total tubuh (kg)
- h : Tinggi badan (m)

3 Penyesuaian Distribusi Massa Berdasarkan BMI

1. BMI Lebih Besar dari 25 (Overweight)

Jika BMI lebih besar dari 25, distribusi massa disesuaikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Torso: } m_{\text{Torso}} &= m_{\text{Torso}} + 0.10, \\ \text{Lengan Atas: } m_{\text{Upper Arm}} &= m_{\text{Upper Arm}} - 0.05, \\ \text{Lengan Bawah: } m_{\text{Lower Arm}} &= m_{\text{Lower Arm}} - 0.05, \\ \text{Paha: } m_{\text{Thigh}} &= m_{\text{Thigh}} - 0.05, \\ \text{Betis: } m_{\text{Lower Leg}} &= m_{\text{Lower Leg}} - 0.05, \\ \text{Kaki: } m_{\text{Foot}} &= m_{\text{Foot}} - 0.01.\end{aligned}$$

2. BMI Kurang dari 18.5 (Underweight)

Jika BMI kurang dari 18.5, distribusi massa disesuaikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Torso: } m_{\text{Torso}} &= m_{\text{Torso}} - 0.10, \\ \text{Lengan Atas: } m_{\text{Upper Arm}} &= m_{\text{Upper Arm}} + 0.05, \\ \text{Lengan Bawah: } m_{\text{Lower Arm}} &= m_{\text{Lower Arm}} + 0.05, \\ \text{Paha: } m_{\text{Thigh}} &= m_{\text{Thigh}} + 0.05, \\ \text{Betis: } m_{\text{Lower Leg}} &= m_{\text{Lower Leg}} + 0.05, \\ \text{Kaki: } m_{\text{Foot}} &= m_{\text{Foot}} + 0.01.\end{aligned}$$

Penjelasan Variabel

- $m_{\text{Torso}}, m_{\text{Upper Arm}}, m_{\text{Lower Arm}}, m_{\text{Thigh}}, m_{\text{Lower Leg}}, m_{\text{Foot}}$: Persentase massa dari masing-masing segmen tubuh.
- Nilai perubahan massa (+0.10, -0.05, +0.05, dll.) adalah penyesuaian berdasarkan kategori BMI.

BMI dan Distribusi Lemak

Pada individu dengan BMI > 25 (overweight), lemak tubuh cenderung terakumulasi lebih banyak di bagian torso (abdomen dan dada) dibandingkan ekstremitas (lengan dan kaki). Hal ini menyebabkan massa relatif pada ekstremitas lebih kecil.

Sebaliknya, pada individu dengan BMI < 18.5 (underweight), lemak tubuh yang minim menyebabkan proporsi massa lebih kecil di torso, sementara massa pada ekstremitas relatif lebih besar karena distribusi otot dan tulang.

Angka seperti ± 0.05 dan ± 0.10 adalah perkiraan untuk merepresentasikan efek perubahan BMI terhadap persentase massa tubuh secara sederhana.

Rumus dan Formulasi Matematis Momentum pada Kaki

1. Kecepatan dari Integrasi Percepatan

$$v_x(t) = \int_0^t a_x dt, \quad v_y(t) = \int_0^t a_y dt, \quad v_z(t) = \int_0^t a_z dt$$
$$v_{\text{magnitude}} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Keterangan:

- a_x, a_y, a_z : Komponen percepatan pada sumbu x, y, z .
- v_x, v_y, v_z : Komponen kecepatan pada sumbu x, y, z .
- $v_{\text{magnitude}}$: Besar kecepatan total.

2. Momentum

$$p(t) = m_{\text{segmental}} \cdot v_{\text{magnitude}}$$

Keterangan:

- $m_{\text{segmental}}$: Massa segmen tubuh yang diamati.
- $v_{\text{magnitude}}$: Besar kecepatan segmen tubuh.
- $p(t)$: Momentum segmen tubuh.

3. Grafik Momentum

- Sumbu x : Waktu (t) dalam satuan detik.
- Sumbu y : Momentum ($p(t)$) dalam satuan kg·m/s.
- Fungsi: Menunjukkan bagaimana momentum berubah seiring waktu.

Rumus dan Formulasi Matematis Gaya Normal pada Saat Berdiri/Angkat Kaki

1. Massa Segmen Tubuh

$$m_{\text{segmental}} = m_{\text{total}} \cdot 0.015$$

Keterangan:

- $m_{\text{segmental}}$: Massa segmen tubuh dalam kilogram (kg).
- m_{total} : Massa tubuh total dalam kilogram (kg).
- Konstanta 0.015: Persentase massa segmen terhadap total massa tubuh.

2. Gaya Normal

$$F_{\text{normal}} = m_{\text{segmental}} \cdot g$$

Keterangan:

- F_{normal} : Gaya normal dalam Newton (N).
- $m_{\text{segmental}}$: Massa segmen tubuh dalam kilogram (kg).
- g : Percepatan gravitasi bumi, bernilai 9.81 m/s^2 .

4 Pendekatan Impuls dengan Gaya Normal untuk Gaya Normal pada Kaki Saat Bergerak

1. Definisi Impuls:

$$J = \Delta p$$

dengan:

- J : Impuls ($N \cdot s$).
- Δp : Perubahan momentum ($kg \cdot m/s$).

2. Hubungan Impuls dan Gaya Normal:

$$J = F_n \cdot \Delta t$$

dengan:

- F_n : Gaya normal (N).
- Δt : Selang waktu (s).

3. Perubahan Momentum:

$$\Delta p = m \cdot v_2 - m \cdot v_1$$

dengan:

- m : Massa segmen tubuh (kg).
- v_1, v_2 : Kecepatan awal dan akhir (m/s).

4. Hubungan Gaya Normal dengan Perubahan Momentum:

$$F_n \cdot \Delta t = m \cdot (v_2 - v_1)$$

Sehingga:

$$F_n = \frac{m \cdot (v_2 - v_1)}{\Delta t}$$
$$F_n = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Rumus dan Formulasi Matematis Lain

1. Integrasi Numerik untuk Orientasi

$$\text{roll}(t) = \int_0^t \omega_x dt, \quad \text{pitch}(t) = \int_0^t \omega_y dt, \quad \text{yaw}(t) = \int_0^t \omega_z dt$$

Keterangan:

- $\omega_x, \omega_y, \omega_z$: Komponen kecepatan sudut (*angular velocity*).
- t : Waktu atau indeks linier.

2. Magnitudo Percepatan

$$\text{acc_magnitude} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Keterangan:

- a_x, a_y, a_z : Komponen percepatan pada sumbu x, y, z .
- acc_magnitude : Besar percepatan total.

3. Perubahan Percepatan pada Setiap Sumbu

$$\text{acc_change_x} = a_x(t) - a_x(t-1), \quad \text{acc_change_y} = a_y(t) - a_y(t-1), \quad \text{acc_change_z} = a_z(t) - a_z(t-1)$$

Keterangan:

- $a_x(t), a_y(t), a_z(t)$: Percepatan pada waktu t .
- acc_change : Selisih percepatan antar data.

4. Pendektesian Puncak (Foot Strikes)

$$\text{acc_magnitude} \geq \text{threshold}$$

Keterangan:

- threshold : Ambang batas untuk mendeteksi puncak.

5. Magnitudo Kecepatan Sudut

$$\text{angular_velocity} = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}$$

Keterangan:

- $\omega_x, \omega_y, \omega_z$: Komponen kecepatan sudut.