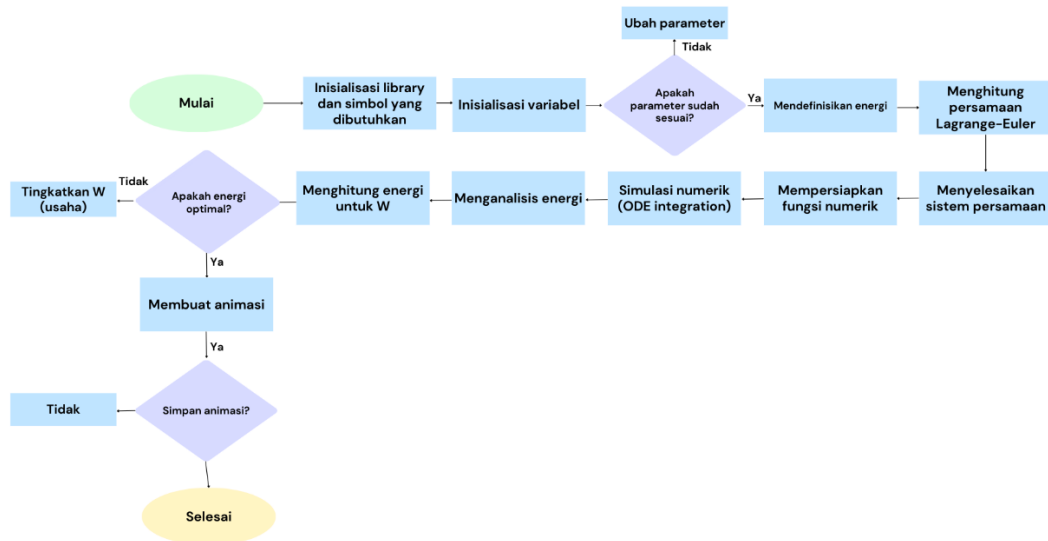


1. Diagram alir Modul Analisis Double Pendulum

Diagram Alir Analisis Double Pendulum



2. Algoritma kode pemrograman

- **Persiapan dan pendefinisian variabel**

Library sympy digunakan untuk mendefinisikan variabel simbolik, turunan, dan manipulasi persamaan matematika. Variabel seperti Φ_1, Φ_2 (sudut pendulum), x_1, y_1, x_2, y_2 (posisi pendulum), ω (frekuensi), g (gravitasi), L_1, L_2 (panjang batang), dan massa m diatur secara simbolik. Fungsi matematika (sin dan cos) digunakan untuk menghitung posisi benda di pendulum berdasarkan waktu.

- **Menentukan posisi pendulum**

Posisi pendulum 1:

$$x_1 = \cos(\omega t) + L_1 \sin(\theta_1), y_1 = -L_1 \cos(\theta_1)$$

posisi x_1 dan y_1 dihitung berdasarkan panjang batang pertama (L_1) dan sudut ayunannya (Φ_1).

Posisi pendulum 2:

$$x_2 = x_1 + L_2 \sin(\theta_2), y_2 = y_1 - L_2 \cos(\theta_2)$$

posisi x_2 dan y_2 dihitung dari posisi pendulum 1 dengan menambahkan panjang batang kedua (L_2) dan sudut ayunan (Φ_2).

- **Energi sistem**

Sistem memiliki energi kinetik karena kecepatan gerak masing-masing pendulum dan memiliki energi potensial karena posisi masing-masing pendulum terhadap gravitasi. Lagrangian disini sebagai kombinasi energi kinetik dan potensial digunakan untuk memahami gerak sistem.

- **Mencari persamaan gerak**

Persamaan gerak diperoleh menggunakan metode Lagrange yang menghasilkan dua persamaan matematika untuk Φ_1 dan Φ_2 . Persamaan ini menjelaskan bagaimana masing-masing pendulum bergerak berdasarkan gravitasi, panjang batang, dan sudutnya.

- **Simulasi gerakan pendulum**

Pendulum dimulai dari posisi awal yang didefinisikan di $y_0 = [0.1, 0.1, 0, 0]$. Integrasi numerik dilakukan untuk menghitung evolusi sistem terhadap waktu menggunakan odeint. Dengan menggunakan hasil dari persamaan gerak, gerakan pendulum dihitung langkah demi langkah dengan bantuan komputer. Program menggunakan fungsi numerik untuk menghitung posisi sudut (θ_1, θ_2) dan kecepatannya secara terus-menerus seiring waktu.

- **Energi dalam sistem**

Fungsi `get_energy` menghitung energi rata-rata selama simulasi untuk nilai frekuensi ω tertentu. Program juga mengecek energi rata-rata sistem pada berbagai nilai kecepatan putar (ω), untuk melihat bagaimana frekuensi memengaruhi sistem.

- **Animasi gerak**

Posisi masing-masing bob dihitung dengan `get_x0y0x1y1x2y2`.

Fungsi `animate` memperbarui posisi dua batang pendulum dan jejak lintasan. Animasi dihasilkan menggunakan `FuncAnimation`. Program menggambar terdiri dari pendulum 1 dan pendulum 2 sebagai titik pendulum yang bergerak, batang sebagai garis yang menghubungkan pendulum ke titik gantungan, dan jejak lintasan sebagai garis yang menunjukkan kemana pendulum telah bergerak.

- **Visualisasi**

Grafik energi $E(\omega)$ diplot untuk mempelajari dinamika sistem pada berbagai frekuensi. Animasi memvisualisasikan gerak pendulum dalam ruang 2D.

3. Analisis grafik dan animasi double pendulum

Analisis grafik:

- Grafik yang pertama `plt.plot(ans.T[0])`

Grafik ini terlihat menunjukkan osilasi dari suatu besaran, mungkin posisi sudut, kecepatan sudut, atau energi total sistem. Sumbu x kemungkinan besar mewakili waktu atau jumlah iterasi simulasi. Sumbu y menggambarkan nilai suatu parameter yang berubah secara periodik dengan pola yang kompleks. Pola ini bisa mencerminkan perilaku chaos yang sering terjadi dalam sistem double pendulum.

- Grafik yang kedua

Grafik ini memperlihatkan variasi suatu parameter dalam rentang yang lebih kecil. Ada lonjakan tajam (spike) pada sekitar $x = 0.6$, yang menunjukkan transisi dinamis atau ketidakstabilan pada sistem. Sumbu x kemungkinan adalah waktu, dan y bisa mewakili salah satu sudut atau momentum dari double pendulum. Garis vertikal mungkin menunjukkan batas atau daerah fokus dari pengamatan tertentu, seperti fase transisi atau dinamika kritis.

Analisis animasi double pendulum:

Pada animasi, kita dapat melihat bagaimana gerakan kedua pendulum saling mempengaruhi. Pendulum pertama berosilasi, tetapi interaksi dengan pendulum kedua menyebabkan gerakan pendulum kedua menjadi sangat kompleks dan tidak dapat diprediksi dengan mudah. Chaotic behavior terlihat jelas, di mana perubahan kecil pada kondisi awal (seperti sudut dan kecepatan awal) menghasilkan perubahan besar dalam trajektori gerakan seiring waktu. Pergerakan nonlinear ini dapat diamati dengan jelas dalam animasi, di mana kedua pendulum bergerak dalam pola yang sangat tidak teratur dan tidak berulang. Animasi tersebut menggunakan beberapa jejak untuk menggambarkan pergerakan setiap pendulum. Jejak pendulum pertama (ln2) dan jejak pendulum kedua (ln3) menunjukkan bagaimana posisi masing-masing pendulum berubah dari waktu ke waktu. Jejak ini berfungsi untuk memberikan gambaran tentang seberapa jauh pendulum bergerak selama periode tertentu dan menekankan sifat chaotik dari sistem, di mana posisi pendulum berubah secara drastis dalam waktu singkat. Warna cyan untuk jejak memberikan kesan visual yang jelas pada jejak panjang, yang membantu pemirsa mengikuti pergerakan pendulum. Animasi ini menunjukkan bagaimana dua pendulum yang saling berhubungan menghasilkan gerakan yang kompleks dan tidak terduga. Double pendulum adalah contoh sistem fisika yang menunjukkan perilaku chaotic di mana prediksi jangka panjang sulit dilakukan hanya dengan melihat kondisi awal. Sistem ini memiliki berbagai aplikasi dalam fisika dan teknik, serta merupakan contoh yang baik dari dinamika non-linear dan perilaku acak yang muncul dalam sistem terdistribusi.