

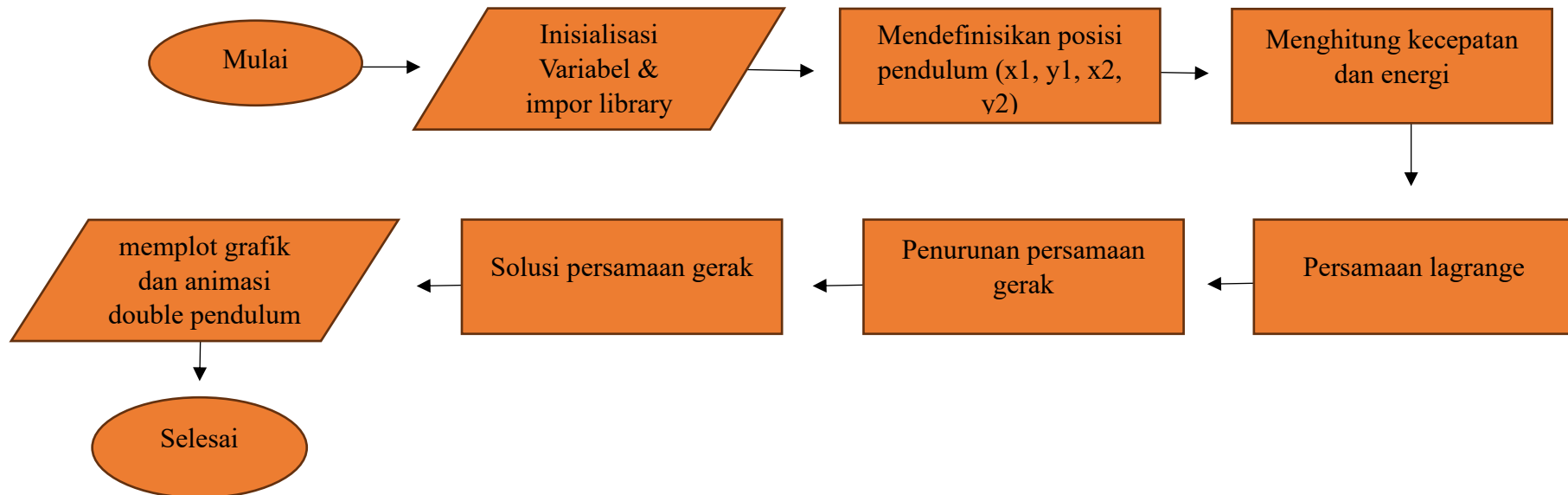
PRAKTIKUM FISIKA KOMPUTASI
MODUL 8 ANALISIS DOUBLE PENDULUM

Oleh:

Nama : Eneng Yulia Pebryanti

NIM : 1227030013

- *Flowchart* kode pemrograman double pendulum



- **Algoritma Kode program**

- 1. Inisialisasi variabel**

Kode menggunakan **SymPy** untuk mendefinisikan simbol matematika dan variabel waktu, massa, gravitasi, panjang pendulum, dan sudut theta beserta turunannya. Variabel x dan y juga didefinisikan untuk melacak posisi pendulum dalam koordinat Cartesian. Bertujuan agar menyediakan basis untuk memodelkan sistem double pendulum secara simbolis.

- 2. Penentuan posisi dan kecepatan**

Fungsi posisi x_1, y_1 dan x_2, y_2 dideklarasikan berdasarkan sudut dan panjang pendulum. Kecepatan pendulum dihitung menggunakan turunan waktu dari fungsi posisi. Bertujuan agar menentukan posisi dan kecepatan masing-masing pendulum yang akan digunakan dalam analisis energi dan dinamika sistem.

- 3. Energi kinetik, potensial dan lagrangian**

Energi kinetik (T) dihitung sebagai fungsi dari kecepatan v_x dan v_y , sementara energi potensial (V) bergantung pada posisi vertikal pendulum. Lagrangian (LL) didefinisikan sebagai $L=T-V$. Bertujuan agar menggunakan Lagrangian untuk mendeskripsikan dinamika sistem.

- 4. Persamaan gerak (Lagrange-Euler)**

Persamaan Lagrange-Euler diturunkan untuk kedua sudut θ_1 dan θ_2 menggunakan Lagrangian. Persamaan diferensial hasilnya diselesaikan untuk mendapatkan percepatan angular θ_1 dan θ_2 . Bertujuan untuk memperoleh persamaan gerak yang menggambarkan dinamika sistem double pendulum.

- 5. Persamaan diferensial numerik**

Solusi simbolis dari percepatan angular dikonversi menjadi fungsi numerik menggunakan **lambdify** untuk evaluasi cepat. Sebuah fungsi diferensial didefinisikan untuk menghitung turunan pertama dan kedua dari sudut θ_1 dan θ_2 . Bertujuan agar menyediakan kerangka untuk menghitung evolusi sistem double pendulum secara numerik.

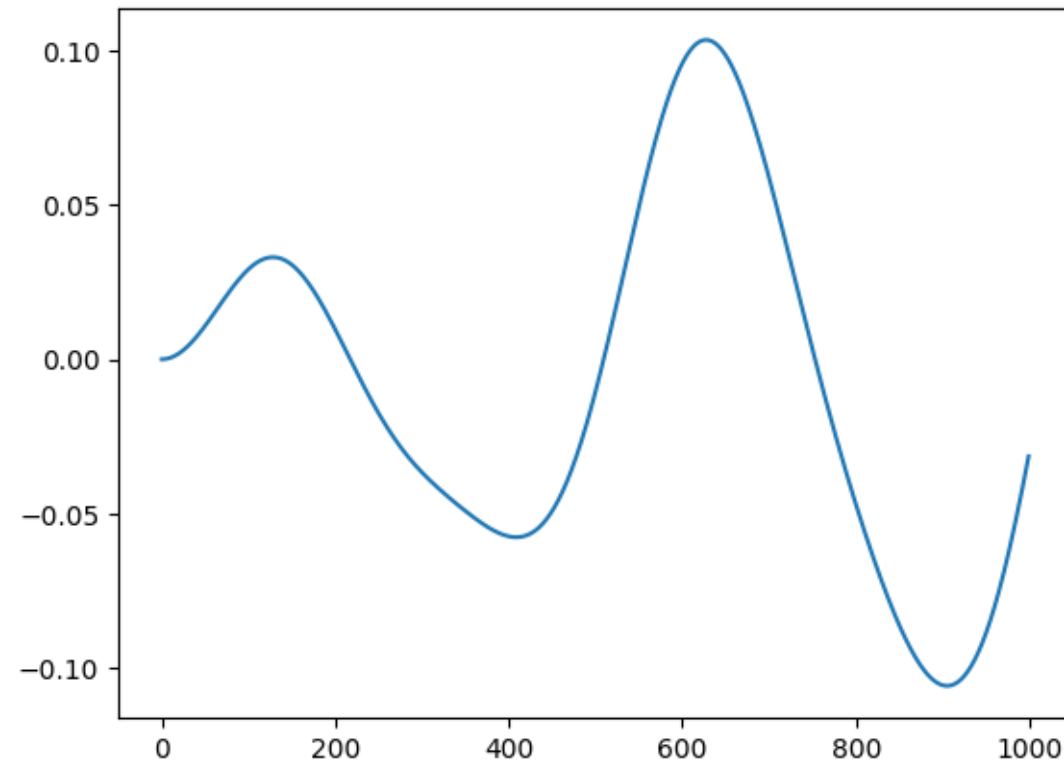
6. Simulasi gerak dan analisis energi

Dengan menggunakan **odeint**, persamaan diferensial sistem diselesaikan untuk interval waktu tertentu. Solusi ini memberikan sudut dan kecepatan angular dari kedua pendulum seiring waktu. Lalu fungsi untuk menghitung energi kinetik rata-rata sistem disediakan, di mana komponen kecepatan digunakan untuk mengevaluasi energi kinetik kedua pendulum. Bertujuan agar menciptakan data trajektori untuk digunakan dalam visualisasi gerak serta menganalisis distribusi energi dalam sistem untuk memahami perilaku geraknya.

7. Visualisasi dan animasi

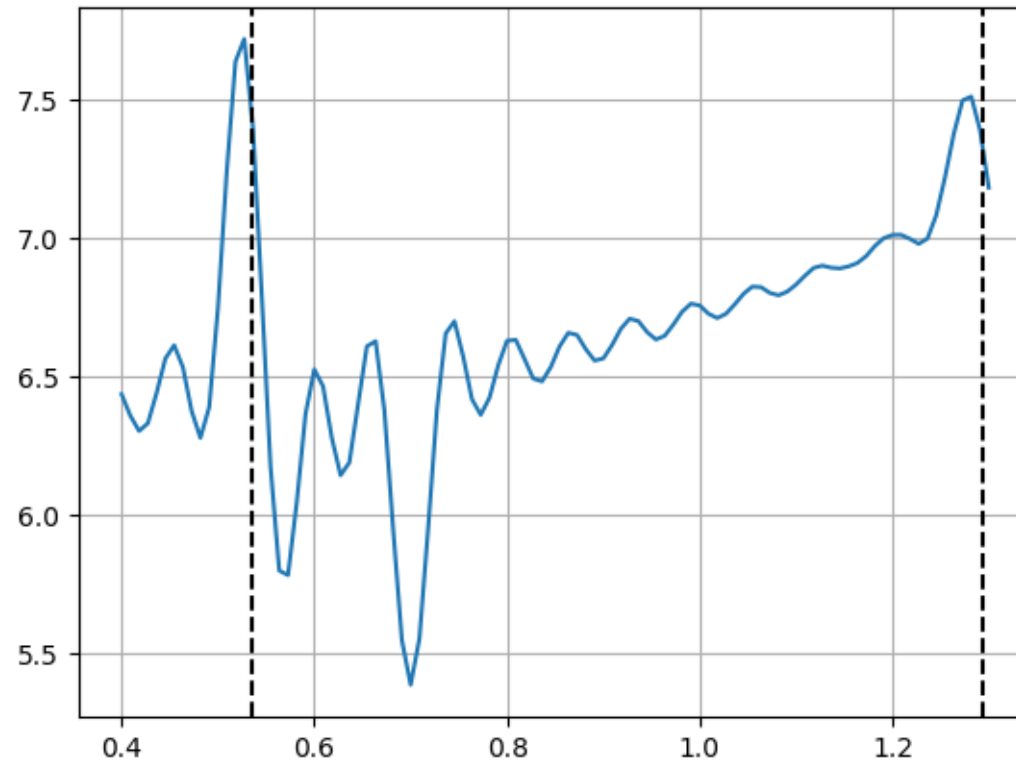
Posisi pendulum dihitung ulang untuk setiap langkah waktu, dan menggunakan **matplotlib.animation**, animasi gerak dibuat. Jejak pendulum digambarkan untuk menunjukkan lintasan. Bertujuan agar memberikan visualisasi interaktif yang menunjukkan dinamika kompleks double pendulum, termasuk perilaku kaotik.

- **Analisis grafik dan animasi double pendulum**

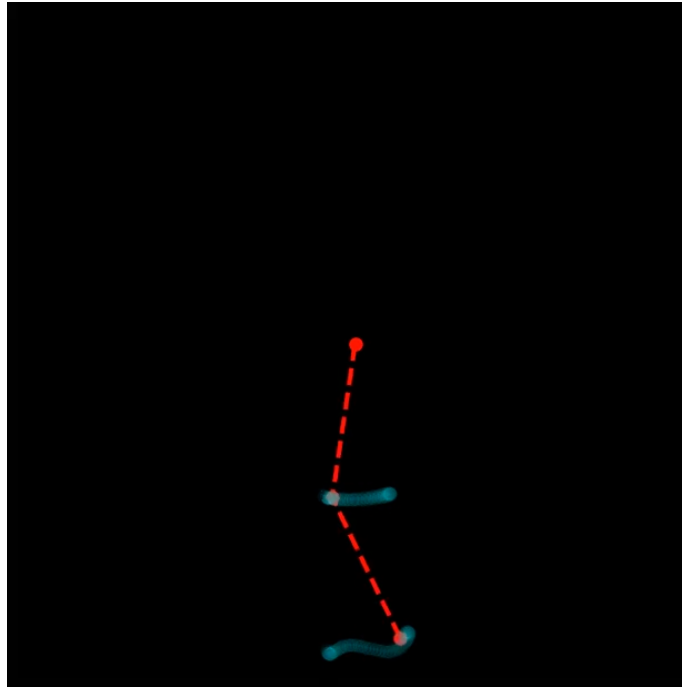


Grafik ini menunjukkan pola osilasi yang mencerminkan dinamika sistem double pendulum. Perubahan naik turun pada grafik menunjukkan sifat periodik atau semiperiodik dari sistem, dengan amplitudo yang bervariasi seiring waktu. Variasi amplitudo ini mencerminkan adanya transfer energi antara kedua pendulum, di mana energi kinetik dan potensial terus berinteraksi secara dinamis.

Perilaku ini menunjukkan kemungkinan sifat kaotik, di mana pola osilasi tidak lagi sepenuhnya teratur dan menjadi lebih kompleks seiring waktu. Grafik ini memberikan gambaran visual tentang bagaimana sistem mekanis dapat menghasilkan gerakan yang kompleks akibat interaksi internal antar komponennya.



Grafik kedua menunjukkan hubungan antara dua variabel, di mana terdapat pola fluktuasi yang tidak beraturan dengan amplitudo dan frekuensi yang bervariasi. Terlihat adanya dua garis vertikal putus-putus yang mungkin menandai batasan atau nilai kritis pada grafik. Fluktuasi signifikan di sekitar garis-garis tersebut menunjukkan bahwa ada dinamika penting atau perubahan dalam sistem yang berkaitan dengan nilai-nilai tersebut. Amplitudo grafik meningkat secara bertahap pada bagian kanan, yang mengindikasikan adanya pertumbuhan energi atau efek resonansi. Secara keseluruhan, grafik ini mencerminkan transisi dari pola osilasi teratur ke arah yang lebih dinamis, yang khas pada sistem nonlinear seperti double pendulum.



Animasi double pendulum menunjukkan bahwa gerakan pendulum pertama memengaruhi dinamika pendulum kedua. Amplitudo dan lintasan dari kedua pendulum berubah seiring waktu akibat adanya transfer energi di antara keduanya. Awalnya, gerakan dapat terlihat periodik dan teratur, tetapi lama-kelamaan dapat berkembang menjadi kaotik, dengan lintasan yang tampak acak. Jejak atau garis yang dihasilkan oleh pergerakan pendulum menggambarkan jalur dinamisnya, mencerminkan interaksi antara energi potensial dan kinetik dalam sistem. Representasi visual ini memperlihatkan bagaimana sistem mekanika klasik, khususnya dengan konfigurasi multi-badan seperti double pendulum, mampu menciptakan perilaku yang kompleks dan tidak terduga.