

Praktikum Fisika Komputasi Senin, 11 November 2024

ANALISIS DOUBLE PENDULUM

Berdasarkan Percobaan yang sudah dilakukan maka untuk analisis Double Pendulum ini dapat dinyatakan berhasil dengan berupa grafik dan animasi yang dimunculkan, untuk Diagram alir (**Flowchart**) dari kode programnya adalah sebagai berikut .



Algoritma dalam program ini diawali dengan mengimpor library yaitu **NumPy** digunakan untuk operasi array dan komputasi numerik, sedangkan **SymPy** membantu melakukan manipulasi simbolik seperti menghitung turunan, menyelesaikan persamaan, dan membuat fungsi matematis. Selain itu, **SciPy** digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial secara numerik, dan **Matplotlib** membantu dalam pembuatan grafik serta animasi pergerakan pendulum. Selanjutnya, program mendefinisikan variabel-variabel simbolik yang merepresentasikan parameter fisik dari sistem pendulum ganda. Variabel-variabel ini meliputi panjang batang (L_1) dan (L_2), massa (m), percepatan gravitasi (g), serta sudut rotasi kedua pendulum (θ_1) dan (θ_2). Selain itu, program juga mendeklarasikan turunan pertama ($\dot{\theta}$) dan turunan kedua ($\ddot{\theta}$) dari sudut-sudut tersebut, karena diperlukan untuk menggambarkan dinamika gerakan sistem. Kemudian, posisi setiap pendulum dalam koordinat kartesian (x, y) dihitung. Pendulum pertama dihitung berdasarkan panjang batang pertama dan sudutnya (θ_1), sementara posisi pendulum kedua ditentukan oleh posisi pendulum pertama, panjang batang kedua, dan sudutnya sendiri (θ_2). Hubungan matematis ini dirumuskan untuk menggambarkan bagaimana posisi kedua pendulum saling terkait secara spasial. Setelah itu, algoritma menghitung total energi dalam sistem, yang mencakup energi kinetik (T) dan energi potensial (V). Energi kinetik dihitung berdasarkan kecepatan masing-masing pendulum, sementara energi potensial dihitung berdasarkan posisi vertikal kedua pendulum relatif terhadap gravitasi. Selisih antara energi kinetik dan energi potensial menghasilkan fungsi Lagrangian ($L = T - V$), yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan persamaan gerak sistem.

Dengan menggunakan Lagrangian, program menerapkan metode **Lagrange-Euler** untuk menurunkan persamaan gerak kedua pendulum, yang diwakili oleh (θ_1) dan (θ_2). Metode ini menghasilkan persamaan diferensial non-linear yang menggambarkan percepatan sudut (θ'') sebagai fungsi dari parameter fisik sistem seperti sudut, kecepatan sudut, panjang batang, massa, dan gravitasi. Algoritma ini menggunakan pendekatan numerik untuk mendapatkan solusinya. Persamaan diferensial diubah ke format yang kompatibel dengan solver numerik, dan program menggunakan fungsi **odeint** dari SciPy untuk menyelesaikannya. Solver ini memerlukan kondisi awal, seperti nilai awal sudut dan kecepatan sudut, untuk menghasilkan solusi numerik berupa posisi dan kecepatan pendulum dalam rentang waktu tertentu. Setelah perhitungan selesai, program membuat visualisasi hasilnya. Posisi pendulum divisualisasikan dalam grafik dua dimensi, di mana kedua pendulum direpresentasikan sebagai batang yang bergerak dari titik pusat. Selain itu, program juga membuat animasi untuk menunjukkan pergerakan sistem double pendulum dari waktu ke waktu, memperlihatkan pola-pola gerakan yang khas, termasuk sifat kekacauan (chaos) yang sering muncul pada sistem ini. Program juga menyertakan analisis energi sistem. Dengan menghitung energi kinetik rata-rata untuk berbagai nilai frekuensi sudut (ω), program menghasilkan grafik yang menggambarkan hubungan antara energi sistem dan frekuensi. Grafik ini menunjukkan pola penting seperti resonansi dan stabilitas dalam gerakan pendulum.

Dalam grafik perubahan sudut pendulum (**θ_1** dan **θ_2**) terhadap waktu, terlihat pola gerakan yang semakin tidak teratur seiring waktu berjalan. Pada awalnya, sudut kedua pendulum mungkin menunjukkan pola yang lebih teratur karena energi sistem masih terdistribusi dengan baik. Namun, ketika waktu berlalu, energi mulai berpindah antara kedua pendulum, menyebabkan pola grafik yang tidak beraturan. Hal ini mencerminkan sifat chaos pada double pendulum, di mana gerakan sistem sangat sensitif terhadap kondisi awal. Bahkan perubahan kecil pada nilai awal sudut dapat menghasilkan pola gerakan yang sangat berbeda. Selain itu, grafik energi kinetik rata-rata terhadap frekuensi sudut (ω) memberikan informasi tentang hubungan energi dalam sistem. Grafik ini menunjukkan adanya titik-titik puncak atau frekuensi resonansi, di mana energi kinetik sistem berada pada nilai maksimum. Frekuensi ini menandai momen ketika sistem bekerja paling efisien dalam menyimpan energi kinetik. Sebaliknya, di luar frekuensi tersebut, energi kinetik menurun, menunjukkan gerakan yang kurang efisien. Garis vertikal yang ditampilkan pada grafik menandai titik-titik penting, seperti resonansi utama, yang membantu memahami dinamika energi dalam sistem. Animasi double pendulum memberikan visualisasi gerakan yang Pada awalnya, gerakan kedua pendulum mungkin tampak teratur, tetapi dengan cepat berubah menjadi tidak stabil dan sulit diprediksi. Hal ini menyoroti karakteristik utama double pendulum, yaitu sifat chaos yang membuat sistem sangat sensitif terhadap kondisi awal. Animasi ini juga menunjukkan transfer energi antara kedua pendulum, di mana energi kinetik dan potensial terus berpindah secara dinamis. Selain itu, jejak lintasan yang dihasilkan oleh ujung pendulum memberikan pola yang sangat kompleks, yang dalam beberapa kasus menyerupai struktur fraktal.