

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Setiap apa yang Allah ciptakan di alam semesta ini tidak ada yang sia-sia, hal ini dijelaskan dalam firman Allah SWT yang tertulis dalam Al-Qur'an Surat Ali-Imran ayat 190-191.

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾  
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ  
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal" (yaitu orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, Maka peliharalah kami dari siksa Neraka" (QS. Ali-Imran: 190-191).

Kemudian diterangkan dalam Hadits Nabi yaitu: Dari abu Darda radhiyallahu 'anhu berkata: Aku mendengar Rasulullah Shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda:

مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَطْلُبُ فِيهِ عِلْمًا، سَلَكَ اللَّهُ بِهِ طَرِيقًا مِنْ طَرِيقِ الْجَنَّةِ، وَإِنَّ الْمَلَائِكَةَ لَتَضَعُ أَجْنِحَتَهَا لِطَالِبِ الْعِلْمِ، وَإِنَّ الْعَالِمَ لَيَسْتَعْفِرُ لَهُ مَنْ فِي السَّمَوَاتِ وَمَنْ فِي الْأَرْضِ، وَالْحَيِّثُ فِي جَوْفِ الْمَاءِ، وَإِنَّ فَضْلَ الْعَالِمِ عَلَى الْعَابِدِ كَفَضْلِ الْقَمَرِ لَيْلَةَ الْبَدْرِ عَلَى سَائِرِ الْكَوَاكِبِ، وَإِنَّ الْعُلَمَاءَ وَرَثَةُ الْأَنْبِيَاءِ، وَإِنَّ الْأَنْبِيَاءَ لَمْ يُورَثُوا دِينَارًا وَلَا دِرْهَمًا، إِنَّمَا وَرَثُوا الْعِلْمَ، فَمَنْ أَخَذَهُ أَخَذَ بِحِطِّ وَافِرٍ

## 1.1. Latar Belakang

---

Artinya: "Barangsiapa menempuh suatu jalan yang padanya dia mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan dia menempuh jalan dari jalan-jalan (menuju) Jannah, dan sesungguhnya para malaikat benar-benar akan meletakkan sayap-sayapnya untuk penuntut ilmu, dan sesungguhnya seorang penuntut ilmu akan dimintakan ampun untuknya oleh makhluk-makhluk Allah yang di langit dan yang di bumi, sampai ikan yang ada di tengah lautan pun memintakan ampun untuknya. Dan sesungguhnya keutamaan seorang yang berilmu atas seorang yang ahli ibadah adalah seperti keutamaan bulan pada malam purnama atas seluruh bintang, dan sesungguhnya ulama adalah pewaris para Nabi, dan para Nabi tidaklah mewariskan dinar ataupun dirham, akan tetapi mereka hanyalah mewariskan ilmu, maka barangsiapa yang mengambilnya maka sungguh dia telah mengambil bagian yang sangat banyak" (HR. Abu Dawud no.3641, At-Tirmidziy no.2683, isnad hasan, kitab Jaami'ul Ushuul 8/6).

Berbagai permasalahan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang fisika, dapat digambarkan dalam bentuk persamaan matematik. Apabila persamaan tersebut mempunyai bentuk sederhana, maka penyelesaiannya dapat dilakukan secara analitik, tetapi pada umumnya bentuk persamaan yang sulit diselesaikan secara analitik, sehingga solusinya dilakukan secara numerik.

Fisika adalah ilmu yang mempelajari sifat dan gejala pada benda di alam, pentingnya mempelajari ilmu fisika karena ilmu fisika merupakan ilmu dasar yang berhubungan dengan perilaku dan struktur benda, khususnya benda mati, termasuk pada penelitian ini yaitu berkaitan dengan pergerakan sistem dinamik *Pendulum*.

Dalam Al-Qur'an yang terangkum dalam Surat Al-Kahfi ayat 54, *Pendulum* dapat dijelaskan:

وَلَقَدْ صَرَّفْنَا فِي هَذَا الْقُرْآنِ لِلنَّاسِ مِنْ كُلِّ مَثَلٍ ۗ وَكَانَ الْإِنْسَانُ أَكْثَرَ شَيْءٍ

جَدَلًا ﴿٥٤﴾

Yang artinya: "Dan sesungguhnya Kami telah mengulang-ulangi bagi manusia dalam Al-Qur'an ini bermacam-macam perumpamaan dan manusia adalah makhluk yang paling banyak membantah" (QS. Al-Kahfi: 54).

Ayat diatas merupakan pernyataan Allah SWT tentang kandungan Al-Qur'an yang mengingatkan kita dengan berbagai perumpamaan secara berulang-ulang. Apabila kita perluas makna dari ayat diatas dengan peristiwa atau gejala fisis bahwa

## 1.1. Latar Belakang

---

Allah menciptakan alam semesta dengan wujudnya atau materinya selalu bergerak secara berulang-ulang. Gerak berulang-ulang dalam berdimensi ruang sering kita sebut sebagai getaran, *Pendulum* sendiri merupakan sebuah benda yang dapat berayun secara berulang-ulang.

*Pendulum* merupakan benda yang terikat pada sebuah tali yang dapat berayun secara bebas atau periodik. Prinsip ini ditemukan pada tahun 1581 oleh Galileo Galilei. Kemudian dilanjutkan oleh Christiaan Huygens yang menciptakan jam *Pendulum*.

*Chaos* ditemukan oleh Raja Oscar II pada tahun 1885 di Swedia. ia bertanya tentang 'three-body problem', yaitu tiga planet di ruang angkasa yang bergerak satu sama lain dengan gaya gravitasi yang sama. Kemudian dua planet tersebut dipisahkan oleh Newton pada tahun sebelumnya (Alligood, K.T., Sauer, T.D., & Yorke, 1996).

Pada tahun 1892 tepatnya abad 19 *Chaos* di temukan oleh Henri Poincare yang merupakan seorang ahli matematika. secara matematik, yang disebutkan dalam karyanya berjudul *Celestial Mechanics*, *Chaos* dikenal sebagai lintasan *homoclinic* dalam ruang fasa (Feng, J.C., & Tse, C.K., 2007).

Kemudian pada tahun 1960, Edward Lorenz yang merupakan seorang pakar atmosfer MIT sedang meneliti tentang prediksi cuaca. Ia membuat 12 sistem persamaan diferensial untuk model iklim. Dia mencatat hasil yang diperoleh dalam bentuk numerik. Satu tahun kemudian ia mengulangi perhitungan dan didapatkan hasil yang sangat berbeda. Pada perhitungan pertama dia memasukkan nilai 0.506127 dengan menggunakan pembulatan nilai 0.506 sehingga ditemukan solusi bahwa persamaan nonlinier sangat sensitif terhadap kondisi awal. Kesensitifan ini disebut dengan efek kupu-kupu (E. Lorenz meringkas karyanya dengan judul "Apakah kepakan sayap kupu-kupu di Brazil memicu tornado di Texas"). Pada konsep ini kepakan sayap kupu-kupu tetap konstan, seperti lokasi kupu-kupu, dampaknya dan lokasi dari dampak-dampak selanjutnya juga dapat bervariasi secara luas (Strmiskova, L., 2007).

Menurut R. Deserio (2003) *Pendulum Chaos* komersial dimodifikasi untuk mempelajari dinamika nonlinier, penentuan Poincare, dimensi fraktal, dan lyapunov eksponen. Yang menghasilkan kecepatan sudut konstan dan menunjukkan geometri fraktal dari *Chaos* serta menghasilkan *interface* grafik yang seragam (DeSerio, 2003).

Kemudian pada tahun yang sama Firoz Ali J. (2003) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa *Pendulum* ganda merupakan contoh sistem dinamik sederhana

yang menunjukkan perilaku kompleks, seperti *Chaos*. Metodologi *feedback* digunakan untuk memperpanjang batas kinerja pada redaman sehingga diperoleh kestabilan sistem dari sistem yang tidak stabil (Jafri, F.A., 2003).

Tahun 2006 S. Sandler mengemukakan bahwa perilaku spasial *Pendulum* ganda yang terdiri dari dua *Pendulum* yang berayun di titik pusat yang berbeda, masing-masing memiliki persamaan gerak. Penelitian ini menggunakan pemodelan *software* Matlab untuk memecahkan nonlinier persamaan diferensial dengan metode Rung-Kutta (Bendersky, S., & Sandler, B, 2006).

Pada tahun 2007 Dany Kusdianto melakukan penelitian tentang pendekatan metode terhadap masalah mengenai gerakan periodik dari benda bebas sangat memerlukan posisi dan kecepatan benda sebagai fungsi waktu yang merupakan fungsi linier menggunakan metode Adam Bashforth orde-4 sebagai prediktor dan Adam Moulton orde-4 sebagai korektornya (Kusdianto, D., 2007).

Selanjutnya pada tahun yang sama Jan Awrejcewicz (2007) membuat eksperimen dan analisis numerik dari sistem *triple pendulum* dengan pendekatan *square function* yang menggunakan *software* LabView, sistem ini dirancang khusus untuk pengolahan data akuisisi. Hasil dari perbandingan analisis numerik dan eksperimen menghasilkan perilaku yang kacau (Awrejcewicz, J., Kudra, G., & Wasilewski, G., 2007).

Pada tahun 2009, S. Khanafiyah mengungkapkan dalam penelitiannya yaitu terjadinya getaran harmonis pada benda yang berosilasi dengan amplitudo kecil, sehingga mempunyai periode yang nilainya tergantung pada besarnya momen inersia. Hasilnya menunjukkan ayunan *Pendulum* fisis, grafik antara kuadrat periode dengan variabel bebas adalah linier (Khanafiyah, S., 2009).

Pada tahun 2013, Nuril Mufidah melakukan simulasi yang membandingkan antara gerak *Pendulum* kondisi ideal dan kondisi tidak ideal, akibat pengaruh gaya eksternal dalam medium zat cair, serta dapat dilihat grafik hubungan antara kecepatan *angular* ( $\omega$ ) terhadap waktu yang dipengaruhi oleh adanya redaman pada gerak *Pendulum* adalah gaya gesek dan gaya Archimedes (Mufidah, N. & Prihanto, A., 2013).

Perkembangan selanjutnya, pada tahun 2013 Handi, dalam skripsinya ia melakukan penelitian pemanfaatan pengolahan citra dari gerak *Pendulum* matematis yang diaplikasikan pada transformasi Hough menggunakan metode deteksi garis untuk menggerakkan *mobile robot vision Lane Tracking* (Pandriantama, H., 2013).

Dalam skripsi ini saya menganalisis kestabilan sistem dari *Pendulum* I dan II, studi awal penelitian ini adalah membuat model matematik menggunakan Lagrange

## 1.2. Perumusan Masalah

---

untuk mencari nilai eigen dalam menganalisis kestabilan sistem, selanjutnya solusi numerik untuk menyelesaikan solusi sistem persamaan diferensial biasa ke dalam bentuk numerik. Fokus terakhir penelitian ini adalah membuat desain rancang bangun *Pendulum* menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan *webcam*, sensor ultrasonik ini berfungsi sebagai pengukur jarak osilasi tiap satu waktu, begitupun dengan *webcam* berfungsi mengukur pergerakan osilasi menggunakan deteksi warna merah, setelah itu dilakukan pengujian dengan *interfacing* gerak *Pendulum* menggunakan perangkat lunak Matlab 2010 secara *real time*. Hal ini untuk membuktikan adanya gejala *Chaos* dan menghitung nilai gravitasi serta gaya geseknya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada pemodelan matematik menggunakan Lagrange, solusi numerik dari sistem dinamik *Pendulum* I dan II dan terakhir membuat rancang bangun sistem *Pendulum* I dan II menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan *webcam* secara *real time*, rumusan ini ditujukan pada bagaimana menganalisis kestabilan sistem dinamik dari *Pendulum* I dan II berdasarkan pemodelan matematik, solusi numerik dan pengamatan eksperimen menggunakan sensor Ultrasonik dan *Webcam* secara *real time*.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada pemodelan matematik dari sistem dinamik *Pendulum* I dan II menggunakan Lagrange, solusi numerik dengan metode Runge-Kutta orde-4, analisis kestabilan berdasarkan simulasi menggunakan *Software* Matlab 2010 dan terakhir membuat rancang bangun *pendulum* I dan II menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan *webcam* secara *real time*.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kestabilan sistem dinamik *Pendulum* I dan II baik secara analitik, numerik dan eksperimen dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan *webcam* secara *real time*.

## 1.5 Manfaat

Secara spesifik kontribusi utama dari penelitian ini diantaranya yaitu: analisis *Chaos* untuk dijadikan bahan referensi penelitian selanjutnya, sebagai aplikasi dari praktikum fisika dasar secara otomatisasi dan membuktikan adanya fenomena *Chaos* pada sistem dinamik *Pendulum II*.

## 1.6 Kerangka dan Ruang Lingkup

Kerangka penelitian ini membahas tentang suatu sistem dinamik dimana pemodelan matematik dilakukan untuk mencari nilai eigen *Pendulum I* dan *II* menggunakan Lagrange, selanjutnya digunakan metode numerik menggunakan metode Runge-kutta orde-4 untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial biasa ke dalam bentuk numerik, setelah itu dilakukan pengamatan eksperimen menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan webcam secara *real time*.

Ruang lingkup penelitian ini membahas tentang suatu sistem dinamik yang menggunakan sistem diferensial biasa (ODE), dimana sistem ini merupakan sistem yang bergantung terhadap waktu dan bersifat linier atau nonlinier, dalam penelitian ini difokuskan pada adanya gejala sistem *Chaos* yang terdapat pada sistem dinamik *Pendulum I* dan *II*.

## 1.7 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini digunakan metode pengumpulan data studi literatur, metode pengumpulan data ini digunakan sebagai langkah awal penelitian, beberapa jurnal, skripsi, tesis yang digunakan sebagai referensi dan dikaji ulang oleh penulis untuk kemudian dilakukan modifikasi sebagai salah satu langkah pengembangan atau pembaharuan penelitian. Adapun literatur yang menjadi acuan utama dalam penelitian ini yaitu tesis yang di tulis oleh Master Firoz Ali Jafri mengenai sistem dinamik *double pendulum* yang berjudul "*Analysis and Control of Bifurcations in a Double Pendulum*".

## 1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan bagian terpenting dalam penulisan skripsi yang berfungsi untuk menyusun pembahasan secara sistematis. Dalam skripsi ini, sistematika penulisan terdiri dari 6 bab.

Pada bab 1 pendahuluan, menjelaskan tentang: latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat, kerangka dan ruang lingkup, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

Bab 2 tinjauan pustaka, menjelaskan tentang: sistem dinamik, analisis kestabilan, model matematik, metode numerik sistem persamaan diferensial biasa, sistem *Chaos*, dan sistem eksperimen.

Bab 3 metode penelitian, menjelaskan tentang: langkah kerja yang dilakukan, alat dan bahan yang digunakan, perangkat lunak yang dipakai, kerangka penelitian, metoda penelitian yang dipakai dan desain rancang bangun penelitian.

Bab 4 analisis sistem dinamik *Pendulum I*, menjelaskan tentang: pemodelan matematik menggunakan Lagrange, solusi numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde-4, analisis kestabilan lokal, pengamatan *Pendulum I* menggunakan HC-CR04 dan *webcam* secara *real time*.

Bab 5 analisis sistem dinamik *Pendulum II*, menjelaskan tentang: pemodelan matematik menggunakan Lagrange, solusi numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde-4, analisis kestabilan, pengamatan *Pendulum II* menggunakan HC-CR04 dan *webcam* secara *real time*.

Bab 6 Penutup, menjelaskan tentang: kesimpulan dari hasil penelitian dan saran.