

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan menghadapi tantangan keamanan maritim yang kompleks, menuntut strategi pengamanan wilayah laut yang kuat [1]. Ancaman paling signifikan saat ini adalah perkembangan teknologi Rudal Jelajah Anti-Kapal (*Anti-Ship Cruise Missile / ASCM*) yang dirancang dengan profil terbang rendah (*sea-skimming*), kecepatan tinggi, dan manuver ekstrem untuk menghindari deteksi radar [2]. Urgensi modernisasi sistem pertahanan ini diperkuat oleh penelitian Khanchoupan et al. (2024), yang menyatakan bahwa kegagalan dalam mendeteksi serangan rudal secara dini dapat berakibat fatal bagi keselamatan unit militer [3]. Oleh karena itu, pengembangan sistem deteksi otomatis pada radar kapal menjadi prioritas untuk mengantisipasi ancaman tersebut.

Kendala utama sistem pertahanan saat ini terletak pada keterbatasan radar konvensional yang hanya mampu mendeteksi posisi kinematika namun lemah dalam pengenalan identitas objek otomatis yang menjadi *bottleneck* utama pemrosesan sinyal [4]. Ketiadaan label otomatis memaksa ketergantungan pada analisis manual operator, yang efektivitasnya sering menurun akibat kelelahan mental dan keterbatasan kognitif saat menghadapi saturasi data [5]. Padahal, klasifikasi objek berkecepatan tinggi memerlukan analisis fitur lintasan presisi yang sulit dilakukan secara manual dalam hitungan detik, sebagaimana dibuktikan oleh Clerico et al. (2023) [6].

Meskipun kecerdasan buatan menawarkan solusi, penerapannya di domain maritim sering kali belum menyentuh inti permasalahan taktis. Studi terdahulu seperti Ke et al. (2025) lebih fokus pada klasifikasi kapal niaga menggunakan data AIS yang tidak relevan untuk ancaman rudal [7]. Sementara itu, pendekatan berbasis sensor visual memiliki kelemahan fatal karena keterbatasan jangkauan dan dependensi pada kondisi cuaca [8]. Hal ini mengindikasikan adanya celah penelitian (*research gap*) akan kebutuhan sistem cerdas yang mampu mengenali ancaman murni berbasis data pola pergerakan lintasan radar (*trajectory behavior*) yang andal di segala kondisi.

Tantangan terbesar dalam pengembangan sistem ini adalah ketiadaan data latih akibat sifat kerahasiaan data militer (*classified*) [9]. Solusi ilmiah yang valid untuk mengatasi hambatan ini adalah penggunaan data hasil simulasi berbasis Batasan parameter fisik, sebagaimana divalidasi oleh Schneider et al. (2024) yang sukses melatih model prediksi target rudal menggunakan data simulasi Monte Carlo [10].

Penelitian ini mengusulkan penerapan arsitektur *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tipe rudal secara otomatis melalui pendekatan klasifikasi bertingkat (*hierarchical classification*). LSTM dipilih karena efisiensinya dalam memproses data sekuensial dibandingkan model *Transformer* [11], serta kemampuannya yang terbukti unggul dalam menangkap karakteristik manuver objek bergerak berdasarkan fitur pola pergerakan lintasan [12]. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan mengadaptasi keunggulan LSTM tersebut untuk menciptakan sistem yang mampu membedakan Rudal Jelajah Anti-Kapal (*Anti-Ship Cruise Missile*) dari Objek Non-Ancaman (seperti pesawat terbang sipil) berdasarkan data hasil Simulasi Monte Carlo.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sebuah sistem untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tipe Rudal Jelajah Anti-Kapal dengan menerapkan arsitektur *Long Short-Term Memory* (LSTM) melalui analisis pola pergerakan objek pada data hasil Simulasi Monte Carlo?
2. Bagaimana tingkat performa model LSTM yang dikembangkan dalam mengklasifikasikan objek secara bertingkat, yang diukur berdasarkan nilai Metriks Evaluasi baik pada kondisi ideal maupun gangguan (*noise*) radar?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terarah dan sesuai dengan lingkup pembahasan, ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Implementasi penelitian dilakukan secara simulatif komputasional tanpa menggunakan perangkat keras (*hardware*) radar fisik. Sebagai gantinya, penelitian ini akan mengembangkan dua perangkat lunak utama:
 1. Perangkat Lunak Pembangkit Dataset (*Trajectory Data Generator*).
 2. Prototipe Sistem Deteksi dan Klasifikasi Otomatis (SDK-O) Rudal Jelajah Anti
2. Penelitian ini hanya memproses data numerik deret waktu (time-series) yang merepresentasikan parameter pergerakan objek, dan tidak mencakup pemrosesan data dalam bentuk citra (gambar) maupun video
3. Spesifikasi teknis dan karakteristik pergerakan rudal, mencakup kecepatan, ketinggian, dan manuver, yang digunakan sebagai acuan dalam pembangkitan data bersumber dari basis data Missile Threat oleh Center for Strategic and International Studies (CSIS Missile Threat) untuk profil ancaman rudal, serta FAA Aircraft Characteristics Database untuk profil objek non-ancaman [13] [14].
4. Kinerja model diukur menggunakan metrik evaluasi standar pengujian machine learning yang mencakup Akurasi, Presisi, Recall (Sensitivitas), dan F1-Score.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem deteksi serta klasifikasi tipe Rudal Jelajah Anti-Kapal dengan menerapkan arsitektur Long Short-Term Memory (LSTM) melalui analisis pola pergerakan objek pada data hasil Simulasi Monte Carlo.
2. Mengevaluasi dan menganalisis kinerja model LSTM dalam melakukan klasifikasi bertingkat berdasarkan nilai Metriks Evaluasi untuk mengukur efektivitas dan keandalan sistem.

1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

1. Manfaat Teoretis

- a. Memberikan bukti empiris mengenai efektivitas arsitektur *Long Short-Term Memory* (LSTM) dalam mengolah parameter pergerakan objek (time-series) untuk klasifikasi objek udara berkecepatan tinggi [15].
- b. Memperkaya khazanah pengetahuan terkait pemodelan ancaman maritim dengan membuktikan bahwa pola pergerakan lintasan (kecepatan, ketinggian, dan manuver) merupakan fitur pembeda utama dalam klasifikasi tipe rudal tanpa ketergantungan pada data citra atau sensor visual.

2. Manfaat Praktis

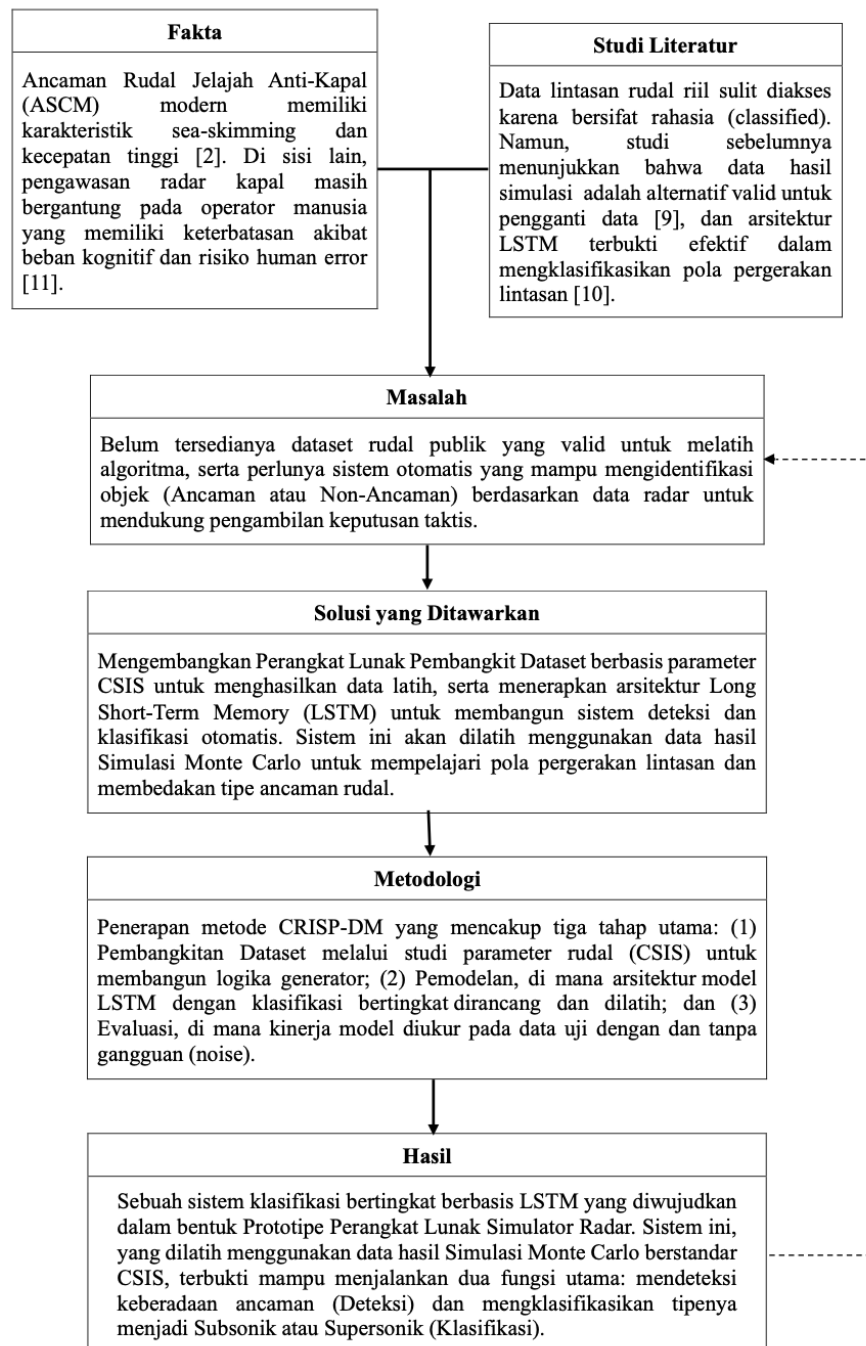
Menyediakan Prototipe Perangkat Lunak Simulator Radar sebagai media demonstrasi dan lingkungan uji coba virtual guna memvalidasi keakuratan algoritma deteksi terhadap berbagai skenario ancaman rudal.

3. Manfaat Metodologis

Mendemonstrasikan pendekatan riset yang memanfaatkan data spesifikasi teknis terbuka (seperti basis data CSIS Missile Threat) untuk ditransformasikan menjadi dataset lintasan radar yang dinamis melalui Simulasi Monte Carlo, sebagai solusi alternatif yang valid atas sulitnya akses terhadap data operasi radar militer yang bersifat rahasia [10]

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian ini disusun untuk memetakan alur logis penyelesaian masalah secara sistematis, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka Pemikiran

Secara garis besar, kerangka ini dibangun dari tiga komponen utama. Pertama, identifikasi kondisi lapangan berupa ancaman ASCM yang semakin sulit dideteksi secara manual akibat karakteristik *sea-skimming* dan kecepatan tinggi, dikombinasikan dengan keterbatasan kognitif operator radar. Kedua, penetapan

solusi teknis berupa pembangunan Perangkat Lunak Pembangkit Dataset berbasis Simulasi Monte Carlo menggunakan parameter CSIS dan FAA, dilanjutkan dengan penerapan arsitektur Stacked LSTM melalui pendekatan klasifikasi bertingkat. Ketiga, kerangka metodologis CRISP-DM yang memandu seluruh alur kerja dari persiapan data hingga evaluasi model pada kondisi ideal dan kondisi dengan injeksi *Gaussian Noise*. Keseluruhan alur ini bermuara pada terwujudnya Prototipe Perangkat Lunak Simulator Radar sebagai realisasi solusi atas permasalahan yang diidentifikasi.

