

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Petir merupakan fenomena pelepasan muatan listrik alami di atmosfer yang ditandai oleh arus listrik berintensitas tinggi dan berlangsung dalam waktu yang sangat singkat. Proses terjadinya petir diawali oleh pemisahan muatan listrik positif dan negatif di dalam awan badai yang menyebabkan akumulasi medan listrik. Ketika kuat medan listrik tersebut melebihi ambang batas kekuatan tembus udara, terjadi proses ionisasi yang membentuk saluran konduktif sehingga pelepasan muatan listrik berlangsung dalam bentuk kilatan petir. Pelepasan muatan ini dapat terjadi dalam satu kali sambaran maupun beberapa kali sambaran berulang, bergantung pada distribusi serta jumlah muatan yang terakumulasi di dalam awan [1].

Berdasarkan jalur pelepasannya, petir dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu petir antar-awan (*cloud-to-cloud*), petir awan ke udara (*cloud-to-air*), petir di dalam awan (*intracloud*), serta petir awan ke tanah (*cloud-to-ground*) [2]. Di antara berbagai jenis tersebut, petir awan ke tanah (*cloud-to-ground/CG*) merupakan jenis yang paling berdampak terhadap infrastruktur dan keselamatan manusia. Petir CG dibedakan berdasarkan polaritasnya menjadi petir positif dan petir negatif, di mana petir awan ke tanah negatif merupakan jenis yang paling umum terjadi. Meskipun lebih sering muncul, petir CG negatif tetap berpotensi menimbulkan gangguan serius terhadap sistem tenaga listrik, perangkat elektronik, dan sistem komunikasi akibat efek elektromagnetik yang dihasilkannya [3].

Petir awan ke tanah negatif umumnya melibatkan beberapa fase utama, yaitu preliminary breakdown (PB), stepped leader (SL), return stroke (RS), dan continuing current (CC). Fase-fase tersebut merepresentasikan tahapan proses pelepasan muatan yang dapat muncul selama peristiwa petir berlangsung. Masing-masing fase memiliki mekanisme fisik yang berbeda dan menghasilkan karakteristik medan listrik serta spektrum frekuensi radiasi elektromagnetik yang khas. Fase *preliminary breakdown* berkaitan dengan proses ionisasi awal di dalam awan, sedangkan *stepped leader* mencerminkan pembentukan saluran pelepasan secara bertahap menuju permukaan bumi. Fase *return stroke* merupakan pelepasan arus utama yang menghasilkan kilatan cahaya terang, sementara *continuing current* dapat terjadi ketika arus listrik masih mengalir setelah kilatan utama. Perbedaan mekanisme pada berbagai fase petir tersebut menyebabkan variasi distribusi energi dan karakteristik spektral sinyal elektromagnetik yang dihasilkan. Radiasi elektromagnetik akibat petir mencakup spektrum frekuensi yang sangat luas, termasuk pada pita *Very High Frequency* (VHF) [4]. Emisi pada pita VHF diketahui memiliki keterkaitan erat dengan proses pembentukan dan perkembangan *leader* serta aktivitas *breakdown* awal, sehingga analisis sinyal pada rentang frekuensi ini

menjadi penting untuk memahami dinamika fisik pelepasan muatan secara lebih mendalam. Selain itu, informasi spektral pada pita VHF juga berperan penting dalam pengembangan sistem deteksi, pemantauan, dan proteksi petir, khususnya dalam melindungi sistem kelistrikan dan infrastruktur yang sensitif terhadap gangguan elektromagnetik transien.

Sinyal petir pada pita frekuensi VHF memiliki karakteristik yang kompleks karena bersifat tidak stasioner (*non-stationary*), yaitu kandungan frekuensinya berubah terhadap waktu selama proses pelepasan muatan berlangsung. Karakteristik tersebut menyebabkan informasi penting yang berkaitan dengan dinamika spektral sinyal sulit diamati secara optimal menggunakan analisis konvensional. Analisis pada domain waktu hanya mampu menggambarkan perubahan amplitudo sinyal terhadap waktu tanpa memberikan informasi mengenai kandungan frekuensi yang muncul, sedangkan analisis pada domain frekuensi hanya menunjukkan distribusi frekuensi secara global dan tidak mampu menjelaskan kapan suatu komponen frekuensi muncul atau berubah selama kejadian petir berlangsung. Keterbatasan tersebut menjadi semakin signifikan karena aktivitas pelepasan muatan petir berlangsung sangat cepat dalam skala mikrodetik dan menghasilkan perubahan frekuensi yang dinamis.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan metode analisis yang mampu merepresentasikan informasi waktu dan frekuensi secara simultan. *Continuous Wavelet Transform* (CWT) merupakan salah satu metode analisis waktu–frekuensi yang memiliki kemampuan multiresolusi sehingga mampu memberikan lokalisasi waktu dan frekuensi secara adaptif. Dengan karakteristik tersebut, CWT sangat sesuai digunakan untuk menganalisis sinyal petir VHF yang bersifat non-stasioner dan mengandung komponen transien berdurasi sangat singkat. Selain menghasilkan representasi waktu–frekuensi dalam bentuk *scalogram*, CWT juga memungkinkan dilakukan analisis terhadap distribusi energi sinyal pada berbagai rentang frekuensi dan waktu sehingga karakteristik spektral sinyal dapat diamati secara lebih rinci.

Selain melalui distribusi energi, karakteristik sinyal VHF petir juga dapat dilihat menggunakan parameter *Instantaneous Frequency* (IF). Parameter ini memberikan informasi mengenai perubahan frekuensi dominan sinyal terhadap waktu sehingga mampu menggambarkan dinamika spektral sinyal secara lebih detail. Analisis IF menjadi penting karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan frekuensi yang terjadi selama perkembangan proses pelepasan muatan petir, sekaligus melengkapi informasi yang diperoleh dari representasi *scalogram* CWT. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik sinyal petir pada rentang *Very High Frequency* (VHF) menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT) berbasis *Wavelet Morlet*. Analisis difokuskan pada representasi waktu–frekuensi, distribusi energi, dan karakteristik *Instantaneous Frequency* (IF) guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik spektral sinyal petir

yang bersifat non-stasioner. Fase *preliminary breakdown* (PB), *stepped leader* (SL), *return stroke* (RS), dan *continuing current* (CC) digunakan sebagai acuan dalam menginterpretasikan hasil analisis, sehingga hubungan antara perkembangan proses pelepasan muatan dan karakteristik waktu–frekuensi sinyal VHF dapat dipahami dengan lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana karakteristik waktu–frekuensi sinyal petir pada rentang *Very High Frequency* (VHF) menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT)?
2. Bagaimana distribusi energi dan karakteristik *Instantaneous Frequency* (IF) yang dihasilkan dari analisis CWT terhadap sinyal VHF petir?
3. Bagaimana karakteristik waktu–frekuensi, distribusi energi, dan *Instantaneous Frequency* (IF) pada fase *Preliminary Breakdown* (PB), *Stepped Leader* (SL), *Return Stroke* (RS), dan *Continuing Current* (CC)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik waktu–frekuensi sinyal petir pada rentang *Very High Frequency* (VHF) menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT) berbasis *wavelet Morlet*.
2. Menganalisis distribusi energi dan karakteristik *Instantaneous Frequency* (IF) yang diperoleh dari hasil *Continuous Wavelet Transform* (CWT) terhadap sinyal VHF petir.
3. Menganalisis karakteristik waktu–frekuensi, distribusi energi, dan *Instantaneous Frequency* (IF) pada fase *Preliminary Breakdown* (PB), *Stepped Leader* (SL), *Return Stroke* (RS), dan *Continuing Current* (CC) dari petir awan ke tanah negatif.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian ini, maka manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik waktu–frekuensi sinyal petir *Very High Frequency* (VHF) yang di pancarkan oleh petir negatif *cloud-to-ground* (CG).
2. Menghasilkan informasi spektral berupa distribusi energi dan frekuensi dominan dari sinyal petir VHF berdasarkan hasil analisis *Continuous Wavelet Transform* (CWT).

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan batasan masalah dari penyusunan tugas akhir adalah:

1. Penelitian difokuskan pada sinyal petir awan ke tanah negatif (*cloud-to-ground* negatif) pada rentang frekuensi *Very High Frequency* (VHF).
2. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Continuous Wavelet Transform* (CWT) untuk memperoleh representasi waktu–frekuensi sinyal.
3. Jenis petir yang diamati adalah petir negatif *cloud-to-ground* (CG).
4. Pengolahan serta analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB sebagai media implementasi metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian disusun sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi uraian latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori dasar yang mendukung penelitian tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi prosedur penelitian, metode penelitian, rencana tabel yang akan digunakan pada penelitian, rancangan alat yang akan dibuat, dan *flowchart* penelitian.

BAB IV Hasil dan Analisa

Bab ini berisi data hasil pengujian dan pembahasan dalam penelitian Tugas Akhir

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran terkait penelitian Tugas Akhir.