

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tren merupakan suatu kecenderungan perubahan jangka panjang rata-rata nilai data dalam periode waktu tertentu. Tren menggambarkan perilaku suatu kejadian atau fenomena, baik peningkatan maupun penurunan. Dalam analisis data deret waktu, tren dianggap sebagai komponen deterministik yang menggambarkan hubungan sistematis antara variabel dan waktu, baik secara linear maupun non-linear [1]. Pada praktiknya, data seperti suhu, curah hujan, atau parameter iklim lainnya memiliki variabilitas yang tinggi serta dipengaruhi oleh berbagai faktor iklim. Kondisi tersebut menyebabkan pola data sering berfluktuasi dan sulit diidentifikasi. Melalui analisis tren, dapat diketahui perubahan yang terjadi seiring waktu dan juga untuk membuat penilaian tentang kemungkinan perencanaan dengan menilai risiko peristiwa buruk di masa depan. Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat menjadi penting agar informasi tren yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi sebenarnya secara lebih akurat.

Berbagai metode telah banyak digunakan untuk mendeteksi tren iklim dan hidrologi. Sebuah penelitian menggunakan metode regresi linier untuk mendeteksi tren suhu, curah hujan, dan debit sungai menunjukkan bahwa metode ini kurang mampu mendeteksi tren secara akurat karena terdapat autokorelasi, data tidak normal dan data yang digunakan tidak lengkap [2]. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode Mann–Kendall, Spearman's rho, Sen's slope, Ordinary Least Squares (OLS), dan Generalized Pareto Distribution (GPD) hasil estimasi kurang akurat dan interpretasi tren kurang representatif terhadap kondisi sebenarnya karena jumlah data sedikit dan autokorelasi yang tinggi [3]. Hasil penelitian di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dengan menggunakan metode Mann Kendall dan Sen's slope untuk menganalisis curah hujan ekstrem juga menunjukkan bahwa metode ini memiliki keterbatasan terhadap data yang tidak homogen, terlihat dari adanya beberapa stasiun hujan yang dieliminasi karena berpotensi menghasilkan tren yang bias dan

pola perubahan iklim yang sebenarnya menjadi kurang terlihat. Selain itu sebagian besar indeks curah hujan ekstrem juga tidak menunjukkan tren yang signifikan meskipun secara deskriptif terjadi perubahan pola curah hujan, yang mengindikasikan adanya kemungkinan pola perubahan tersembunyi yang kurang mampu ditangkap oleh metode tersebut [4].

Meskipun berbagai penelitian telah memberikan pemahaman mengenai tren curah hujan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada keberadaan dan signifikansi tren secara umum. Pendekatan ini belum cukup untuk menggambarkan perubahan curah hujan secara menyeluruh karena tidak mampu menunjukkan bagian curah hujan yang mengalami perubahan, terutama pada kejadian hujan ekstrem yang justru memiliki dampak risiko lebih besar [5]. Akibatnya, perubahan penting yang terjadi sering kali tidak terlihat. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menggunakan metode *Innovative Trend Analysis* (ITA) dan *Frequency-based ITA* (F-ITA) yang relatif baru dan belum banyak digunakan. ITA mampu mendeteksi tren negatif, positif, maupun saat tidak ada tren, baik pada tren monoton maupun non monoton. ITA juga mampu menganalisis tren berdasarkan kelompok nilai (rendah, sedang, dan tinggi) secara spesifik. Melalui pembagian ini, ITA dapat menyajikan informasi mendalam mengenai perubahan baik pada kondisi normal maupun ekstrem tanpa terikat aturan statistik yang ketat [6]. Sementara itu, F-ITA memperluas analisis dengan berfokus pada perubahan frekuensi kategori kejadian [7]. Dengan ini, dinamika perubahan pola hujan dapat dianalisis secara lebih rinci sehingga memberikan informasi yang tidak dapat diperoleh dari metode tren klasik.

Meskipun ITA dan F-ITA mampu memberikan informasi tren yang lebih rinci dibandingkan metode klasik, keandalan analisis tetap dipengaruhi oleh karakteristik data yang digunakan. Data curah hujan umumnya bersifat non negatif, kontinu, dan memiliki distribusi yang menceng kanan (*right-skewed*). Oleh karena itu, pemodelan distribusi peluang menjadi penting untuk menggambarkan karakteristik data secara lebih realistis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa distribusi Gamma memberikan kesesuaian yang baik dalam memodelkan data curah hujan. Penelitian di Pekanbaru menunjukkan bahwa distribusi Gamma memberikan hasil pemodelan terbaik dibandingkan beberapa distribusi lainnya [8]. Penelitian lain

juga menyatakan bahwa distribusi Gamma memberikan mampu merepresentasikan intensitas hujan di wilayah tropis dengan baik [9]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa distribusi Gamma memiliki karakteristik yang sesuai untuk memodelkan data curah hujan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan Bayesian untuk mengestimasi parameter distribusi Gamma pada data curah hujan. Pendekatan Bayesian dipilih karena mampu memanfaatkan seluruh informasi dari data pengamatan untuk memperoleh distribusi posterior parameter. Dengan demikian, estimasi parameter tidak hanya direpresentasikan oleh satu nilai tertentu, tetapi oleh keseluruhan distribusi probabilitas yang mencerminkan karakteristik data curah hujan secara lebih komprehensif. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan Bayesian mampu memberikan hasil estimasi curah hujan yang lebih akurat. Penelitian sebelumnya berhasil memperkirakan curah hujan maksimum bulanan menggunakan *Generalized Extreme Value Distribution* (GEVD) melalui metode Markov Chain Monte Carlo (MCMC) [10]. Pada penelitian lain, pendekatan Bayesian melalui simulasi MCMC dalam estimasi parameter distribusi curah hujan juga memberikan hasil yang lebih presisi dibandingkan metode klasik seperti L-moments [11]. Proses estimasi parameter dilakukan menggunakan algoritma Metropolis-Hastings karena algoritma ini memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi dalam membangkitkan sampel posterior, terutama pada distribusi parameter yang kompleks dan tidak memerlukan distribusi kondisional penuh [12].

Meskipun parameter dapat diestimasi menggunakan pendekatan Bayesian, informasi tersebut belum cukup untuk menunjukkan seberapa baik metode ITA dan F-ITA bekerja dalam mendeteksi tren. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berhenti pada tahap identifikasi tren tanpa mengevaluasi seberapa baik metode tersebut mampu mendeteksi tren yang sebenarnya. Padahal, suatu metode yang mampu mendeteksi tren pada suatu data observasi belum tentu memiliki kinerja yang baik ketika diterapkan pada berbagai kondisi data yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan proses evaluasi yang mampu mengukur keandalan metode. Melalui simulasi Monte Carlo, sejumlah data sintesis dibangkitkan berdasarkan parameter hasil estimasi Bayesian sehingga memiliki karakteristik yang serupa dengan data observasi. Data simulasi tersebut kemudian digunakan untuk mengevaluasi kinerja

metode ITA dan F-ITA melalui pengukuran kekuatan uji (*power of test*) dan tingkat kesalahan estimasi (*Relative Error*) [13].

Kombinasi metode ITA, F-ITA dengan pendekatan Bayesian dan simulasi Monte Carlo diterapkan untuk menganalisis tren curah hujan di Kabupaten Bogor, dengan menggunakan data historis dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Kabupaten Bogor dipilih sebagai wilayah penelitian karena memiliki tingkat curah hujan yang tinggi serta variabilitas curah hujan yang cukup besar. Berdasarkan data BMKG, rata-rata curah hujan tahunan di Kabupaten Bogor mencapai 3.500 sampai 4.000 mm [14]. Selain itu, Kabupaten Bogor juga berperan penting secara hidrologis karena berada di bagian hulu sejumlah DAS besar seperti Ciliwung yang mengalir ke wilayah Jakarta dan sekitarnya. Hujan ekstrem di kawasan ini sering memicu peningkatan debit sungai dan luapan air yang berkontribusi terhadap banjir kiriman di wilayah hilir. Oleh karena itu, analisis tren curah hujan di Kabupaten Bogor menjadi penting tidak hanya untuk memahami pola iklim lokal, tetapi juga untuk mendukung mitigasi risiko bencana banjir di wilayah Jabodetabek [15].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini tidak hanya menganalisis tren menggunakan metode ITA, tetapi juga mengevaluasi kinerja metode yang digunakan untuk mendeteksi tren tersebut. Integrasi ITA, F-ITA, pendekatan Bayesian dan Simulasi Monte Carlo menghasilkan suatu kerangka analisis yang tidak hanya mampu menghasilkan informasi mengenai pola perubahan curah hujan secara rinci, tetapi juga mengevaluasi kemampuan metode dalam mendeteksi tren secara akurat. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis tren hidrologi sekaligus menyediakan informasi yang lebih kuat sebagai dasar pengambilan keputusan terkait pengelolaan sumber daya air dan mitigasi bencana hidrometeorologi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana metode Bayesian dalam mengestimasi parameter untuk model curah hujan menggunakan algoritma MCMC?

2. Bagaimana tren curah hujan berbasis *Standardized Precipitation Index* (SPI) di Kabupaten Bogor berdasarkan metode *Innovative Trend Analysis* (ITA) dan *Frequency-based* ITA (F-ITA)?
3. Bagaimana kinerja metode ITA dan F-ITA dalam mendeteksi tren berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo yang dievaluasi menggunakan ukuran kekuatan uji (*power of test*) dan *Relative Error* (RE)?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Data yang digunakan merupakan data curah hujan yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
2. Indeks yang digunakan meliputi *Standardized Precipitation Index* (SPI) untuk mengidentifikasi kondisi curah hujan.
3. Data curah hujan diasumsikan mengikuti distribusi Gamma berdasarkan karakteristik data dan penelitian terdahulu yang relevan.
4. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan Bayesian MCMC untuk estimasi parameter tren, metode *Innovative Trend Analysis* (ITA) dan *Frequency-based* ITA (F-ITA) untuk deteksi tren, dan simulasi Monte Carlo untuk menilai kinerja ITA.
5. Fokus penelitian dibatasi pada satu wilayah Kabupaten Bogor dan tidak mewakili kondisi seluruh Indonesia.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Mengestimasi parameter tren menggunakan metode Bayes dengan algoritma Markov Chain Monte Carlo (MCMC).
2. Menganalisis tren curah hujan berbasis *Standardized Precipitation Index* (SPI) di Kabupaten Bogor menggunakan metode *Innovative Trend Analysis* (ITA) dan *Frequency-based* ITA (F-ITA).
3. Mengevaluasi kinerja metode ITA dan F-ITA dalam mendeteksi tren melalui

simulasi Monte Carlo menggunakan ukuran kekuatan uji (*power of test*) dan *Relative Error* (RE).

1.5 Metode Penelitian

Metode yang ditempuh untuk menyelesaikan penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pemahaman teori-teori yang berhubungan dengan curah hujan, metode *Innovative Trend Analysis* (ITA), Pendekatan Bayesian, dan Monte Carlo yang diperoleh dari berbagai sumber berupa buku dan jurnal.

2. Analisis

Pada tahap ini dilakukan pengkajian dan analisis lebih mendalam terhadap hasil studi literatur dan data curah hujan yang telah dikumpulkan. Pada tahap ini dilakukan proses analisis tren curah hujan menggunakan metode ITA dan *Frequency-based ITA* (F-ITA) untuk mendeteksi arah serta intensitas perubahan curah hujan. Selanjutnya digunakan pendekatan Bayesian dengan algoritma MCMC untuk mengestimasi parameter tren dan tingkat ketidakpastiannya. Validasi hasil dilakukan melalui simulasi Monte Carlo untuk menilai keandalan dan kekuatan metode ITA terhadap data curah hujan di Kabupaten Bogor.

3. Simulasi

Tahap ini dilakukan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai curah hujan di Kabupaten Bogor melalui penerapan metode ITA, F-ITA, serta pendekatan Bayesian dan Monte Carlo. Simulasi ini bertujuan untuk mengevaluasi pola tren dan variabilitas curah hujan, sekaligus menilai signifikansi dan validitas metode ITA serta F-ITA berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo. Selain itu, hasil simulasi juga memberikan informasi probabilistik terkait tingkat keandalan dan ketidakpastian hasil deteksi tren, sehingga dapat memperkuat interpretasi terhadap stabilitas pola curah hujan di wilayah Kabupaten Bogor. Seluruh proses analisis dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* R dan excel.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai isi skripsi ini, maka penulis menyajikan sistematika penulisan dengan rincian berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini berisi penjelasan tentang teori-teori yang berkaitan dan menunjang dalam penulisan laporan penelitian Skripsi. Materi tersebut antara lain konsep Analisis Tren, Distribusi Probabilitas dalam deret waktu iklim, Metode ITA, F-ITA, pendekatan Bayesian dengan algoritma MCMC, dan Simulasi Monte Carlo sebagai alat untuk mengevaluasi kekuatan metode deteksi tren.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi pengumpulan dan pengolahan data curah hujan dari BMKG Kabupaten Bogor, penerapan metode ITA dan F-ITA untuk analisis tren, estimasi parameter tren menggunakan pendekatan Bayesian dengan algoritma MCMC, serta validasi hasil dengan simulasi Monte Carlo.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pemaparan mengenai hasil analisis tren curah hujan di Kabupaten Bogor berdasarkan metode ITA, F-ITA, dan pendekatan Bayesian. Pada bab ini disajikan pola tren, arah, dan intensitas perubahan curah hujan, hasil estimasi parameter tren, serta evaluasi keandalan metode menggunakan simulasi Monte Carlo.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini disajikan kesimpulan sebagai jawaban dari rumusan masalah yang diajukan serta saran yang berisi rekomendasi untuk penelitian selanjutnya pada topik yang serupa.