

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena perubahan iklim semakin nyata dirasakan hampir diseluruh wilayah Indonesia. Laporan bank dunia tahun 2021 menempatkan Indonesia sebagai negara peringkat tiga teratas yang paling rentan terhadap resiko perubahan iklim terutama karena memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia serta luas laut yang mencapai hampir 70% dari total luas wilayahnya [1]. Berdasarkan jejak pendapat yang dilakukan oleh Kompas pada 18-19 Desember 2023, hampir sembilan puluh persen responden meyakini dampak perubahan iklim tahun 2023 lebih terasa dibanding dengan tahun-tahun sebelumnya, dimana dampak paling signifikan yang dirasakan adalah peralihan awal musim, panjang musim menjadi semakin tidak menentu dan menyimpang dari kebiasannya.

Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), perubahan iklim mengacu pada perubahan pola cuaca global dalam jangka waktu yang panjang dan dipengaruhi oleh beragam faktor. Perubahan ini terjadi secara terus-menerus karena interaksi antara berbagai komponen iklim seperti suhu udara, curah hujan, angin, kelembaban, tutupan awan, penguapan dan faktor-faktor eksternal yang dipicu oleh aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi CO₂, penggunaan CFC yang tidak terkontrol, dan polusi udara karena ahli fungsi lahan [2].

Adapun akibat yang ditimbulkan oleh perubahan iklim ini seperti, peningkatan suhu udara secara keseluruhan, gelombang panas, kerusakan lingkungan, kenaikan permukaan laut, serta peningkatan frekuensi dan intensitas

bencana alam akibat cuaca ekstrem yang seringkali terjadi melewati batas pola atau kisaran yang biasa dalam hal intensitas, frekuensi dan durasinya [3]. Berdasarkan data yang dikelurakan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) ada 4.940 bencana alam di Indonesia yang terjadi sepanjang tahun 2023, dengan kejadian terbanyak adalah kebakaran hutan sebanyak 1802 kejadian disusul dengan banjir mencapai 1170 kejadian dan tanah longsor 1155 kejadian.

Resiko jangka panjang perubahan iklim diperkirakan lebih tinggi beberapa kali lipat daripada yang teramati saat ini menurut hasil synthesis report Tahun 2022, kerugian dan kerusakan yang disebabkan oleh perubahan iklim, akan meningkat seiring dengan meningkatnya pemanasan global. Jika dibiarkan, hal ini akan menyebabkan dampak yang serius, menciptakan risiko majemuk yang lebih kompleks dan sulit untuk dikelola [4], Sehingga masalah meningkatnya polusi udara dan perubahan iklim ini telah menjadi fokus utama pemerintah saat ini.

Hal ini tercermin dalam upaya pemerintah menggalakan Program Pertumbuhan Ekonomi Hijau Indonesia dalam menyusun Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK), yang diintegrasikan kedalam dokumen pembangunan nasional RPJM 2025-2029 dan RPJPN 2025-2045 [5]. Upaya ini memerlukan kerjasama lintas sektor dan dukungan semua level masyarakat tanpa terkecuali agar pengalaman masa lalu, pencatatan peristiwa alam, pengetahuan lokal, dan pengamatan terhadap lingkungan seharusnya menjadi dasar utama dalam melaksanakan kegiatan adaptasi, mitigasi, REDD+, dan Proklamasi sebagai respons terhadap perubahan iklim [6].

Berdasarkan hal tersebut, dalam rangka membangun strategi antisipasi dan mengambil langkah-langkah yang tepat dalam mengurangi dampak dari interaksi masing-masing indikator penyebab perubahan iklim, penelitian

ini akan menginvestigasi secara analitis hubungan antara berbagai komponen iklim dan menganalisis dinamika kompleks antara variabel-variabel tersebut serta mengevaluasi dampaknya terhadap lingkungan menggunakan analisis model *Vector Autoregressive* (VAR).

Vektor *Autoregressive* (VAR) merupakan salah satu metode analisis data runtun waktu multivariat yang merupakan pengembangan dari model Autoregressive dengan meregresikan setiap variabel model secara independen sampai orde lag optimum, dengan semua parameter yang diestimasi memiliki panjang lag yang sama [7]. VAR memungkinkan untuk memodelkan hubungan dinamis antarvariabel, termasuk hubungan searah maupun timbal-balik antarvariabel, tanpa harus mengasumsikan variabel mana yang bertindak sebagai variabel independen dan dependen [8]. Dalam model VAR setiap variabel dipengaruhi oleh nilai variabel tersebut dan nilai semua variabel yang terdapat dalam model pada masa lampau, sehingga dapat menangkap interaksi kompleks antarvariabel dalam sistem [9]. Dalam konteks ini, setiap komponen iklim dan polusi udara mungkin saling mempengaruhi satu sama lain dalam pola yang sangat kompleks [10], sehingga VAR mampu menganalisis hubungan tersebut tanpa harus mengasumsikan arah kausalitas tertentu [8].

Merujuk pada penelitian sebelumnya, Rahim, U.A., & Masseran, N. (2019) menggunakan analisis VAR untuk memodelkan dan meramalkan data polusi udara di wilayah Klang untuk melihat dampaknya terhadap iklim, model VAR(7) dengan lag yang panjang didapatkan sebagai model terbaik, dan Desvina, A.P. (2016) menerapkan model VAR(1) dengan variabel yang lebih banyak menggunakan metode OLS diperoleh bahwa unsur curah hujan, radiasi matahari, suhu udara, dan hotspot memiliki hubungan yang searah terhadap *Particulate Matter* 10. Selain itu (Muhammad Rizwan, 2024) menggunakan VAR untuk menganalisis berbagai faktor seperti ketersediaan air, curah hujan,

tingkat karbondioksida, dan peningkatan suhu, untuk memahami dampaknya terhadap produksi gandum di Pakistan. Hasil penelitian menunjukkan adanya dampak negatif yang signifikan terhadap produksi gandum Pakistan akibat perubahan iklim.

Adapun demikian, beberapa penelitian terbaru mengatakan ketika variabel yang dimasukkan kedalam model jumlahnya banyak, dan jumlah observasi/data terbatas akan menyebabkan terjadinya over-parameterisasi [11], semakin kompleks model semakin sulit untuk memahami efek sebenarnya antar variabel yang dimodelkan dan meningkatkan kemungkinan terjadinya multikolinearitas, sehingga estimasi yang dihasilkan tidak efisien dan resiko kesalahan dalam peramalan sangat tinggi atau terjadinya overfitting [12]. Namun, over-parameterisasi ini dapat diatasi dengan menggunakan pendekatan Bayesian [13] yaitu membatasi jumlah parameter yang diestimasi dengan pertimbangan bahwa koefisien-koefisien tersebut memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk mendekati nol dibandingkan dengan parameter pada lag yang lebih pendek [14].

Pendekatan bayesian menyediakan kerangka alami untuk menangani ketidakpastian yang cukup besar dalam model VAR dengan memasukan sifat statistik variabel atau informasi sebelumnya tentang parameter model sebagai distribusi prior [15]. Penggunaan prior yang relevan dapat meningkatkan ketepatan estimasi terutama ketika data terbatas. Selain itu pendekatan bayesian lebih fleksibel dalam memodelkan karena dapat memanfaatkan spesifikasi prior yang berbeda sesuai kebutuhan [15] dan struktur gangguan non-Gaussian [16]. Beberapa prior dapat diterapkan dalam pendekatan parameter menggunakan Bayesian VAR, yaitu prior Minnesota, prior SSVS, dan prior Normal-Wishart [17].

Pemilihan prior sangat menentukan keakuratan model, dalam bebe-

rapa literatur prior Minnesota adalah yang paling umum digunakan untuk model VAR [11]. Prior ini mengasumsikan bahwa autokorelasi menurun secara eksponensial dengan peningkatan lag sehingga dapat menyederhanakan model dan mengatasi masalah overfitting, hal ini mungkin tidak selalu sesuai dengan sifat kompleks dari data iklim yang sering menunjukkan pola musiman dan trend jangka panjang yang tidak selalu mengikuti penurunan eksponensial [18], sehingga pada penelitian ini juga akan mencoba membandingkan hasil menggunakan prior Normal-Flat dimana Prior ini mengasumsikan prior yang datar (tidak informatif) untuk koefisien regresi dan prior yang informatif untuk varians error atau varian error mengikuti distribusi normal, prior ini digunakan ketika kita sangat ingin bergantung pada data tanpa ada keyakinan yang kuat tentang parameter [19].

Pendekatan Bayesian yang dikombinasikan dengan *Vector Autoregressive* yang dilambangkan dengan BVAR sering terbukti menjadi alat yang lebih unggul dibandingkan dengan VAR standar yang bersifat frequentist seperti yang dijelaskan dalam [12], [15], [16], [17], [20], sehingga berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan mengeksplorasi potensi model BVAR dalam meramalkan kondisi cuaca dan menjawab apakah terjadi hubungan timbal balik antar masing-masing variabel iklim seperti suhu rata-rata, penyinaran matahari, kelembaban, tekanan udara, curah hujan, seberapa besar pengaruhnya terhadap peningkatan emisi karbon (CO₂) dan polusi udara (PM₁₀), begitupun sebaliknya dengan bantuan uji Causality Granger. Selain itu dengan memanfaatkan Uji *Impulse Response Function* pada model BVAR ini diharapkan mampu menganalisis dinamika kompleks antara variabel-variabel tersebut serta mengevaluasi dampaknya terhadap lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membangun dan mengestimasi model Bayesian VAR dalam menganalisis hubungan dinamis antara unsur iklim dan faktor-faktor penyebab terjadinya perubahan iklim?
2. Apa saja dinamika hubungan yang dapat diungkap melalui analisis hasil model BVAR antara polusi udara, Emisi CO₂ dan unsur iklim lainnya terhadap perubahan iklim?
3. Bagaimana dampak kejutan peningkatan Emisi CO₂ dan Polusi Udara terhadap variabel iklim lainnya dalam jangka waktu tertentu dan seberapa besar pengaruhnya?
4. Bagaimana model BVAR dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel iklim dimasa mendatang?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian mengenai rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, ditetapkan batasan dalam memodelkan hubungan dinamis antara faktor-faktor penyebab perubahan iklim, yaitu hanya menggunakan model statistik dengan regresi linear multivariat yang tidak dapat menangkap hubungan dinamis non-linear. Metode analisis yang digunakan adalah Vektor *Autoregressive* dengan pendekatan Bayesian serta menggunakan distribusi prior Litterman-Minnesota dan Normal-Flat.

1.4 Tujuan Penulisan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan dinamis antar variabel iklim menggunakan model *Bayesian Vector Autoregressive* (BVAR) untuk meningkatkan akurasi prediksi perubahan iklim dan memahami faktor-faktor penyebabnya. Melalui pendekatan Bayesian, penelitian ini berusaha untuk mengatasi masalah overfitting dan multikolinearitas, serta menyediakan dasar ilmiah yang kuat untuk analisis kebijakan dan pengambilan keputusan terkait mitigasi dan adaptasi iklim.

1.5 Sistematika Penulisan

Berikut sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian analisis perubahan iklim dengan metode *Bayesian Vector Autoregressive* (BVAR):

1. BAB I Pendahuluan

(a) Latar Belakang

Sub bab ini berisikan penjelasan mengenai urgensi dan pentingnya penelitian tentang perubahan iklim serta pengenalan masalah yang dihadapi dan relevansi model BVAR dalam konteks ini.

(b) Rumusan Masalah: Pertanyaan-pertanyaan penelitian yang ingin dijawab.

(c) Batasan Masalah: Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini.

(d) Tujuan Penelitian: Tujuan utama yang ingin dicapai dari penelitian ini.

(e) Sistematika Penulisan: Deskripsi singkat mengenai struktur dan isi setiap bab dalam penelitian ini.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini diuraikan mengenai konsep dasar dan teori yang digunakan dalam mendukung penyelesaian masalah pada penelitian ini, seperti definisi dan konsep dasar perubahan iklim, penjelasan mengenai model VAR, konsep BVAR beserta penggunaan distribusi prior, dan teori dalam pengaplikasian model BVAR dalam studi perubahan iklim.

3. BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini dijelaskan mengenai ilustrasi tahapan yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian, yang memuat penjelasan mengenai desain penelitian, data, sumber data dan variabel yang digunakan, spesifikasi model BVAR, langkah-langkah dalam analisis data dan teknis estimasi serta perangkat lunak yang digunakan.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini menjelaskan hasil yang telah diperoleh berdasarkan tahapan penelitian, yaitu analisis deskriptif data, hasil estimasi parameter model BVAR, Analisis hubungan dinamis antar variabel iklim dan pengaruh faktor-faktor penyebab terhadap perubahan iklim, validasi model dan pembahasan hasil penelitian.

5. BAB V Kesimpulan dan Rekomendasi

Pada bab ini memuat ringkasan temuan utama penelitian dan saran untuk penelitian lanjutan atau rekomendasi untuk kebijakan.

6. Daftar Pustaka: Referensi yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan format sitasi yang ditetapkan.

7. Lampiran: Data tambahan, tabel, grafik, dan informasi lain yang mendukung penelitian

