

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semenjak masa pra industri (1850 - 1900) hingga tahun 2006 - 2015 tercatat telah terjadi kenaikan rata-rata suhu permukaan bumi sebesar 1,53°C. Kenaikan suhu sebesar 1,5 hingga 3°C menyebabkan risiko terjadi kekeringan, gelombang panas, serta degradasi lingkungan. Jika kondisi peningkatan suhu berlanjut, diperkirakan akan terjadi peningkatan harga pangan sereal sebesar 7,6% pada 2050 [1]. Interaksi antara perubahan iklim dengan bahan pangan juga dapat mengarah pada peningkatan risiko ketidakterersediaan pangan atau *food insecurity* [2]. Krisis kekurangan pakan hewan yang melanda seluruh Eropa pada tahun 2018 menjadi bukti nyata efek dari perubahan suhu yang terjadi. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih dalam mengenai hubungan antara suhu dan produksi pangan sangat dibutuhkan untuk mengetahui strategi pertanian yang adaptif [3].

Nordik atau Norden dalam bahasa Skandinavia memiliki arti kata "Utara" [4]. Kawasan Nordik merupakan sebuah sebutan bagi negara-negara yang tergabung dalam kawasan Eropa Utara dan Atlantik Utara dengan budaya serta cara hidup yang serupa. Negara kawasan Eropa Utara yang termasuk ke dalam wilayah Nordik meliputi Denmark, Swedia, Finlandia, dan Norwegia [5]. Denmark merupakan negara dengan bentang alam yang datar dan curah hujan tinggi. Dengan produksi utama sereal, per tahun 2023 tercatat 61% dari total wilayah Denmark merupakan area agrikultur [6]. Publikasi *The Nordic Council of Ministers* (2015) menyatakan 7,7% dari total wilayah Finlandia merupakan lahan agrikultur dengan produksi utama *oats* dan *barley*. Sementara negara Swedia memiliki 7% dan Norwegia 3,3% dari total wilayah masing-masing yang dijadikan lahan agrikultur dengan produksi utama sereal [7].

Peningkatan suhu di wilayah Nordik dapat berdampak positif seperti memperpanjang durasi tanam, maupun negatif, seperti peningkatan hama. Wilayah Nordik diperkirakan akan mengalami peningkatan suhu melebihi rata-rata global, terutama di wilayah Utara dan Timur [3]. Mengingat potensi dampak yang diberikan, studi yang dapat mengarahkan perubahan ini ke arah yang positif sangat dibutuhkan [8]. Namun, penelitian mengenai hubungan antara iklim, secara terkhusus suhu dengan produksi pangan di wilayah lintang tinggi seperti Nordik masih sangat terbatas [1, 9]. Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan informasi terkait hubungan suhu tahunan terhadap produksi pangan di wilayah

Nordik, secara terkhusus negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia. Keempat negara dipilih karena memiliki karakteristik serupa dalam hasil produksi pangan, kondisi alam, budaya, serta sosial dan ekonomi. Lingkungan yang bersih serta stabilitas politik di wilayah Nordik memungkinkan analisis dilakukan dengan gangguan yang minim dari variabel eksternal seperti polusi atau ketidakstabilan politik [7].

Model linier merupakan metode statistik yang umum digunakan untuk estimasi dan prediksi berdasarkan observasi satu atau lebih variabel, termasuk dalam bidang agrikultur untuk menganalisis hubungan antar variabel [10]. Pada penelitian ini digunakan tiga pendekatan statistik yaitu, regresi linier sederhana (*Simple Linear Regression*), regresi linier berganda (*Multiple Linear Regression*), dan regresi linier campuran (*Linear Mixed Model*). *Simple Linear Regression* (SLR) dan *Multiple Linear Regression* (MLR) terbukti akurat serta bermanfaat dalam pengambilan keputusan [11]. Dalam penelitian terhadap produksi tebu, model regresi linier berhasil menghasilkan prediksi lebih akurat dibanding metode *machine learning* seperti *Boosted Regression Trees*, *Support Vector Regression*, dan *Random Forest Regression* [12]. Penggunaan regresi linier juga mempertimbangkan efisiensi komputasi dan kemudahan interpretasi yang penting dalam aplikasi bidang agrikultur [13]. *Linear Mixed Model* (LMM) digunakan karena kemampuannya menangani data berkelompok dan menggabungkan efek tetap (*fixed effect*) serta acak (*random effect*). Kemampuan ini memungkinkan analisis yang akurat terhadap variasi antarnegara, antar bahan pangan, serta identifikasi prediktor penting pada berbagai skala [10].

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data produksi pangan dari laman FAO atau *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>) [14] dan data suhu dari situs *NASA POWER* (<https://power.larc.nasa.gov/>) [15]. Penelitian berfokus pada wilayah Nordik, yang termasuk dalam kawasan Eropa Utara meliputi negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia tahun 1984-2023. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai respons setiap bahan pangan terhadap suhu di negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia. Diharapkan juga dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan strategi adaptasi yang efektif.

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang secara umum berbasis tinjauan literatur, diskusi ahli, atau uji coba eksperimental, penelitian ini dilakukan dengan menerapkan model statistik yaitu regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran [8, 16, 17]. Dengan memetakan langsung hubungan

antara suhu dan tahun terhadap tiap komoditas produksi bahan pangan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi perumusan strategi ketahanan pangan yang lebih tepat sasaran. Selain itu, studi ini sejalan dengan visi *Nordic Council of Ministers 2030* yang menekankan kebutuhan penelitian dalam efek perubahan iklim dalam produktivitas lahan [3].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, berikut rumusan masalah dari penelitian ini.

1. Bagaimana hubungan antara variabel suhu (x_1) dan tahun (x_2) terhadap produksi pangan (y)?
2. Bagaimana memodelkan hasil produksi pangan (y) dengan mempertimbangkan keacakan antarnegara?
3. Bagaimana memodelkan hasil produksi pangan (y) dengan mempertimbangkan keacakan antar bahan pangan?
4. Apakah terdapat negara terbaik untuk setiap bahan pangan tumbuh?
5. Apakah terdapat negara yang unggul dalam hal produksi pangan?
6. Apakah terdapat bahan pangan terbaik untuk setiap negara?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Menganalisis hubungan suhu dan tahun terhadap produksi pangan di negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia dengan menggunakan regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran.
2. Menganalisis hubungan suhu dan tahun terhadap produksi pangan menggunakan regresi linier campuran dengan keacakan antarnegara.
3. Menganalisis hubungan suhu dan tahun terhadap produksi pangan menggunakan regresi linier campuran dengan keacakan antar bahan pangan.

4. Menganalisis negara terbaik untuk setiap bahan pangan tumbuh dengan membandingkan nilai β_0 pada regresi linier campuran variabel acak antarnegara.
5. Menganalisis negara yang paling sering menjadi lokasi terbaik suatu bahan pangan tumbuh berdasarkan nilai β_0 pada regresi linier campuran variabel acak antarnegara.
6. Menganalisis bahan pangan dengan hasil produksi tertinggi untuk setiap negara dengan membandingkan nilai β_0 pada regresi linier campuran variabel acak antar bahan pangan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini demi mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Data hasil produksi pangan yang digunakan berupa data jumlah produksi hasil agrikultur dari tahun 1984 hingga 2023 dari *website* FAO (*Food and Agriculture Organization*) [18].
2. Data suhu negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia diambil dari *website* NASA POWER, DAV tahun 1984 hingga 2024 [19].
3. Data suhu yang digunakan merupakan rata-rata suhu tahunan dari berbagai koordinat lintang dan bujur suatu negara. Koordinat dari lintang dan bujur atas negara yang sama dianggap sebagai satu kesatuan negara.
4. Metode yang digunakan meliputi model regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran.
5. Diasumsikan bahwa hasil produksi yang lebih besar mengindikasikan bahwa suatu bahan pangan tumbuh dengan lebih baik di negara tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut manfaat dari penelitian ini secara teoretis dan praktis.

1.5.1 Manfaat Teoretis

1. Pemahaman hubungan suhu dan tahun terhadap produksi pangan di wilayah Nordik. Secara terkhusus negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia.
2. Menyediakan perbandingan performa model regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran dalam bentuk model suhu dan tahun terhadap produksi pangan.
3. Menyediakan analisis negara terbaik diantara negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia untuk setiap bahan pangan tumbuh.
4. Menyediakan analisis bahan pangan terbaik yang tumbuh di negara Denmark, Finlandia, Swedia, dan Norwegia.
5. Menyediakan referensi untuk studi lanjutan yang berkaitan dengan penerapan model regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran yang bergantung pada suhu dan tahun.

1.5.2 Manfaat Praktis

1. Optimasi lokasi budidaya bahan pangan. Identifikasi negara terbaik untuk tiap bahan pangan memungkinkan pelaku produksi pangan memaksimalkan hasil produksi pangan yang unggul di wilayah masing-masing demi meningkatkan efisiensi produksi.
2. Strategi adaptasi perubahan iklim. Memberikan informasi hubungan bahan pangan terhadap suhu dari tahun ke tahun. Dapat menjadi dasar pengembangan bahan pangan yang lebih toleran terhadap suhu sesuai lokasi masing-masing.
3. Analisis produksi pangan terbaik dari setiap negara memberikan dasar informasi untuk kerjasama bilateral dalam hal distribusi pangan antarnegara.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. BAB I - PENDAHULUAN

Pada Bab I dijabarkan latar belakang masalah yang diangkat, metode yang digunakan, serta gambaran umum wilayah yang menjadi fokus penelitian.

Dijelaskan juga rumusan masalah yang menjadi pertanyaan dasar penelitian serta tujuan penelitian untuk menjawab pertanyaan tersebut. Selanjutnya terdapat batasan masalah, manfaat teoritis dan praktis, serta sistematika penelitian.

2. **BAB II - LANDASAN TEORI**

Pada Bab II seluruh notasi dan istilah yang akan digunakan pada penelitian didefinisikan. Dijabarkan juga teori yang menjadi dasar penelitian yaitu, regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran atau *linear mixed model*. Selain itu, dijabarkan juga teori yang digunakan untuk uji performa model, uji asumsi klasik, serta transformasi data. Selain itu, dijelaskan gagasan yang dipakai sebagai acuan dasar penelitian.

3. **BAB III - METODE PENELITIAN**

Pada Bab III dijelaskan langkah serta metode yang dilakukan dalam penelitian secara detil. Disediakan juga diagram alur dari proses metode penelitian. Selain itu, dijelaskan langkah dalam membangun model hubungan variabel suhu dan tahun terhadap produksi pangan, bentuk dari model, dan serta data yang digunakan dalam penelitian.

4. **BAB IV - ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada Bab IV diperlihatkan hasil dari seluruh model regresi linier sederhana, regresi linier berganda, dan regresi linier campuran baik sebelum maupun setelah transformasi. Dibahas juga model terbaik berdasarkan uji performa menggunakan AIC, BIC, dan R^2 serta hasil uji asumsi klasik. Analisis dilakukan terhadap setiap model *random effect country* dan *random effect food item* untuk mengetahui hubungan antar variabel suhu dan tahun terhadap produksi pangan. Melalui hasil analisis diperoleh model terbaik, negara terbaik untuk setiap bahan pangan, serta bahan pangan terbaik di setiap negara.

5. **BAB V - PENUTUP**

Pada Bab V dipaparkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan pada Bab IV. Berdasarkan hasil penelitian dipaparkan hal-hal yang masih dapat dikembangkan sebagai saran. Saran berupa saran praktis dan teoretis yang dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya.