

**ANALISIS PENGARUH *EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO)*,
MADDEN JULIAN OSCILLATION (MJO), DAN *MONSOON* TERHADAP
FLUKTUASI PRODUKTIVITAS KEDELAI. STUDI KASUS: AMERIKA
SERIKAT, KANADA, DAN ARGENTINA (1982-2022)**



MAGFIRA DAMAYANTI

H061201008

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



**ANALISIS PENGARUH *EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO),
MADDEN JULIAN OSCILLATION (MJO), DAN *MONSOON* TERHADAP
FLUKTUASI PRODUKTIVITAS KEDELAI. STUDI KASUS: AMERIKA
SERIKAT, KANADA, DAN ARGENTINA (1982-2022)**

MAGFIRA DAMAYANTI

H061201008



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS PENGARUH *EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO),
MADDEN JULIAN OSCILLATION (MJO), DAN *MONSOON* TERHADAP
FLUKTUASI PRODUKTIVITAS KEDELAI. STUDI KASUS: AMERIKA
SERIKAT, KANADA, DAN ARGENTINA (1982-2022)**

MAGFIRA DAMAYANTI

H061 20 1008

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO),
MADEN JULIAN OSCILLATION (MJO), DAN MONSOON TERHADAP
FLUKTUASI PRODUKTIVITAS KEDELAI. STUDI KASUS: AMERIKA
SERIKAT, KANADA, DAN ARGENTINA (1982-2022)**

MAGFIRA DAMAYANTI

H061 20 1008

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada 16
Desember 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada



Program Studi Geofisika

Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Tugas Akhir,

Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc
NIP. 196303151987101001

Mengetahui:

Ketua Program Studi

Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "*Analisis Pengaruh El-Nino Southern Oscillation (ENSO), Madden Julian Oscillation (MJO), dan Monsoon Terhadap Fluktuasi Produktivitas Kedelai. Studi Kasus: Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina (1982-2022)*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 16 Desember 2024




Magfira Damayanti
H061201008

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, tiada kata yang pantas terucap selain rasa syukur atas pertolongan Allah SWT. Sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan skripsi yang berjudul “**Analisis Pengaruh *El Nino Southern Oscillation (ENSO)*, *Madden Julian Oscillation (MJO)*, dan *Monsoon Terhadap Fluktuasi Produktivitas Kedelai. Studi Kasus: Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina (1982-2022)*”.**

Penelitian dan skripsi ini dapat terampungkan tidak terlepas dari bimbingan, arahan, dan saran dari Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku dosen pembimbing saya, Bapak **Saaduddin, M.Sc** dan **Bapak Andika, S.Si, M. Si** selaku dosen penguji dalam pelaksanaan seminar hasil dan ujian skripsi Geofisika. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika dan terima kasih kepada seluruh **dosen dan staf Departemen Geofisika**, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas segala ilmu, bantuan dan saran yang telah diberikan selama penulis menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin.

Terima kasih kepada kedua orang tua saya Bapak **Firman** dan Ibu **Suarni** juga kepada adik saya **Agus Firmansyah** dan seluruh keluarga saya atas segala do'a dan dukungan yang diberikan karena tanpa kalian mungkin saya tidak akan sampai pada titik ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua teman-teman di **Geofisika 2020** terkhusus kepada **Ima** yang selama ini selalu ada dan membantu penulis dalam berbagai hal selama menjalani perkuliahan juga kepada **Izzah** yang menjadi teman pertama penulis di Geofisika. Kepada teman-teman satu topik TA food security (**Aurel, Wikal, dan Yudi**). Begitupun kepada **Fira, Mifta, Wulan, Riska, Indah dan Yonas** yang selama ini selalu menemani selama masa perkuliahan.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada ChatGPT yang membantu saya dalam membuat script *matlab*.

Terima kasih kepada teman-teman di Group Bismillah Sarjana (**Lulu, Ipa, Uni, Tantri, dan Tasya**) yang selalu mendukung dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Terakhir, saya berterima kasih kepada diri saya sendiri karena sudah mau bertahan sampai saat ini. Bismillah jalani dan percaya akan pertolongan Allah.

Makassar, 2 Desember 2024

Magfira Damayanti
H061201008

ABSTRAK

Magfira Damayanti. **Analisis Pengaruh *El-Nino Southern Oscillation* (Enso), *Madden Julian Oscillation* (Mjo), Dan *Monsoon* Terhadap Fluktuasi Produktivitas Kedelai. Studi Kasus: Amerika Serikat, Kanada, Dan Argentina (1982-2022)** (dibimbing oleh Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc).

Latar belakang. Perubahan iklim menjadi salah satu tantangan besar yang dihadapi oleh berbagai negara di dunia saat ini. Fenomena global yang sering terjadi dan mempengaruhi cuaca dan iklim adalah *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Madden Julian Oscillation* (MJO), dan *monsoon*. Fenomena anomali iklim ini dapat menyebabkan kekeringan, banjir ekstrem, perubahan intensitas dan pola curah hujan akan berdampak pada sektor pertanian khususnya tanaman pangan seperti kedelai.

Tujuan. 1) Membuat model hubungan antara pengaruh ENSO, MJO, dan *Monsoon* terhadap fluktuasi produktivitas kedelai di Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode regresi polinomial. 2) Menganalisis pengaruh ENSO, MJO, dan *monsoon* terhadap fluktuasi produktivitas kedelai di Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina menggunakan *percent correct*.

Metode. Penelitian ini menggunakan metode regresi linear sederhana dan regresi polinomial untuk memodelkan hubungan antara pengaruh ENSO, MJO, dan *Monsoon* terhadap fluktuasi produktivitas kedelai serta menggunakan *percent correct* (PC) untuk menganalisis akurasi hasil pemodelan. **Hasil.** Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pengaruh prediktor (ENSO, MJO, *Monsoon*) terhadap produktivitas kedelai di Lokasi Penelitian bervariasi di tiap kategori. ENSO pada fase *La Nina* berdampak positif kecuali di Amerika Serikat yang berdampak negatif, sedangkan fase *El Nino* berdampak positif di Amerika Serikat dan Kanada, tetapi negatif di Argentina. MJO anomali lemah berdampak positif di ketiga negara, sedangkan anomali kuat berdampak negatif. *Monsoon* anomali lemah berdampak positif di Amerika Serikat dan Argentina, tetapi negatif di Kanada. Sebaliknya, anomali kuat berdampak positif di Kanada namun negatif di Amerika Serikat dan Argentina. Berdasarkan hasil verifikasi model menggunakan nilai *percent correct* dapat disimpulkan bahwa prediktor yang paling berpengaruh terhadap ketiga negara yang menjadi lokasi penelitian adalah prediktor *monsoon*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai PC tertinggi yang didapatkan oleh prediktor *monsoon* pada ketiga negara jika dibandingkan dengan prediktor ENSO dan MJO.

Kata kunci: ENSO, MJO, *Monsoon*, Kedelai, Regresi Linear Sederhana, Regresi Polinomial, *Percent Correct*

ABSTRACT

Background. Climate change is one of the major challenges faced by various countries in the world today. Global phenomena that often occur and affect weather and climate are El Niño Southern Oscillation (ENSO), Madden Julian Oscillation (MJO), and monsoon. These climate anomalies can cause drought, extreme flooding, changes in intensity and rainfall patterns will have an impact on the agricultural sector, especially food crops such as soybeans. **Objectives.** 1) Model the relationship between the influence of ENSO, MJO, and Monsoon on fluctuations in soybean productivity in the United States, Canada, and Argentina using simple linear regression and polynomial regression methods. 2) Analyzing the influence of ENSO, MJO, and monsoon on soybean productivity fluctuations in the United States, Canada, and Argentina using percent correct. **Methods.** This study uses simple linear regression and polynomial regression methods to model the relationship between the influence of ENSO, MJO, and Monsoon on soybean productivity fluctuations and uses percent correct (PC) to analyze the accuracy of modeling results. **Results.** Modeling results show that the influence of predictors (ENSO, MJO, Monsoon) on soybean productivity at the Research Site varies in each category. ENSO in the La Niña phase has a positive impact except in the United States where it has a negative impact, while the El Niño phase has a positive impact in the United States and Canada, but negative in Argentina. The weak anomalous MJO had a positive impact in all three countries, while the strong anomaly had a negative impact. The weak anomalous monsoon had a positive impact in the United States and Argentina, but negative in Canada. Conversely, strong anomalies have a positive impact in Canada but negative in the United States and Argentina. Based on the results of model verification using the percent correct value, it can be concluded that the most influential predictor for the three countries is the monsoon predictor. This is indicated by the highest PC value obtained by monsoon predictors in all three countries when compared to ENSO and MJO predictors.

Keywords: ENSO, MJO, Monsoon, Soybean, Simple Linear Regression, Polynomial Regression, Percent Correct

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	12
1.1 Latar Belakang.....	12
1.2 Tujuan dan Manfaat	13
1.2.1 Tujuan Penelitian	13
1.3 Landasan Teori	14
1.3.1 Kedelai.....	14
1.3.2 <i>El Nino</i> Southern Oscillation (ENSO)	14
1.3.3 Madden Julian Oscillation (MJO)	18
1.3.4 <i>Monsoon</i> Amerika Utara dan <i>Monsoon</i> Amerika Selatan.....	20
1.3.5 Normal Ikim dan Anomali Iklim.....	21
1.3.6 Percentile	22
1.3.7 Metode Regresi Linear Sederhana	22
1.3.8 Metode Regresi Polinomial	23
1.3.9 <i>Percent Correct</i> (PC).....	23
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	25
2.1 Lokasi Penelitian	25
2.2 Alat dan Bahan	25
2.2.1 Alat.....	25
2.2.2 Bahan.....	26
2.3 Prosedur Penelitian.....	26
2.3.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data	26
2.3.2 Tahap Pengolahan Data	26
2.4 Bagan Alir Penelitian.....	28
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	29
3.1 Verifikasi Model Menggunakan <i>Percent Correct</i> (PC).....	29
3.2 Model Pengaruh Prediktor terhadap Fluktuasi Produktivitas Kedelai.....	29
3.2.1 Amerika Serikat.....	30
3.2.2 Kanada.....	40
3.2.3 Argentina.....	46
3.3 Hasil Plot Produksi Kedelai, ENSO, MJO, dan <i>Monsoon</i>	52
3.3.1 Amerika Serikat.....	52
3.3.2 Kanada.....	53
BAB IV PENUTUP	55
4.1 Kesimpulan	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	lxi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. ENSO Fase Netral (BMKG, 2024)	15
Gambar 3. ENSO Fase La Nina (BMKG, 2024)	16
Gambar 4. Fase El Nino (BMKG, 2024)	17
Gambar 5. Wilayah Nino 3.4 (NOAA, 2024)	17
Gambar 6. Proses terjadinya MJO fase konvektif dan fase curah hujan ditekan (Gottschalck, 2014).....	18
Gambar 7. Wilayah Monsoon Amerika.....	21
Gambar 8. Peta Lokasi Penelitian.....	25
Gambar 9. Diagram Air	28
Gambar 10. Model pengaruh ENSO MAM terhadap Produktivitas Kedelai Amerika Serikat.....	30
Gambar 11. Model pengaruh ENSO AMJ terhadap Produktivitas Kedelai Amerika Serikat.....	32
Gambar 12. Model pengaruh MJO ASO terhadap Produktivitas Kedelai Amerika Serikat.....	34
Gambar 13. Model pengaruh MJO NDJ terhadap Produktivitas Kedelai Amerika Serikat.....	36
Gambar 14. Model pengaruh Monsoon Desember terhadap Produktivitas Kedelai Amerika Serikat.....	38
Gambar 15. Model pengaruh ENSO JFM terhadap Produktivitas Kedelai Kanada	40
Gambar 16. Model pengaruh MJO OND terhadap Produktivitas Kedelai Kanada .	42
Gambar 17. Model pengaruh Monsoon Agustus terhadap Produktivitas Kedelai Kanada	44
Gambar 18. Model Pengaruh ENSO OND terhadap Produktivitas Kedelai Argentina	46
Gambar 19. Model pengaruh MJO NDJ terhadap Produktivitas Kedelai Argentina	48
Gambar 20. Model Pengaruh Monsoon Maret terhadap Produktivitas Kedelai Argentina	50
Gambar 21. Plot Produksi Kedelai Amerika Serikat, ENSO (MAM), MJO (ASO), dan Monsoon Desember.....	52
Gambar 22. Plot Produksi Kedelai Kanada, ENSO (JFM), MJO (OND), dan Monsoon Agustus.....	53
Gambar 23. Plot Produksi Kedelai Argentina, ENSO (OND), MJO (NDJ), dan Monsoon Maret.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Percent Correct (PC) dari Prediktor	29
Tabel 2. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs ENSO MAM	31
Tabel 3. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO	31
Tabel 4. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs ENSO AMJ	33
Tabel 5. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO	33
Tabel 6. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs MJO ASO	35
Tabel 7. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali MJO	35
Tabel 8. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs MJO NDJ	37
Tabel 9. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali MJO	37
Tabel 10. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs Monsoon Desember	39
Tabel 11. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali Monsoon	39
Tabel 12. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs ENSO JFM	41
Tabel 13. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO	41
Tabel 14. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs MJO OND	43
Tabel 15. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali MJO	43
Tabel 16. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs Monsoon Agustus	45
Tabel 17. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali Monsoon	45
Tabel 18. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs ENSO OND	47
Tabel 19. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO	47
Tabel 20. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs MJO NDJ	49
Tabel 21. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali MJO	49
Tabel 22. Nilai Gradien dan Konstanta Model Produksi Kedelai vs Monsoon Maret	51
Tabel 23. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Anomali Monsoon	51

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim menjadi salah satu tantangan besar yang dihadapi oleh berbagai negara di dunia saat ini. Anomali iklim seperti kekeringan, banjir ekstrem, perubahan intensitas dan pola curah hujan akan berdampak pada sektor pertanian khususnya tanaman pangan karena dapat mengurangi produksi hasil panen dan meningkatnya serangan hama (Rozci, 2024). Salah komoditas tanaman yang paling sensitif terhadap perubahan iklim adalah kedelai (Ruminta et al., 2020). Pada tahun 2012 terjadi kegagalan panen kedelai secara global akibat perubahan iklim yang menyebabkan kelangkaan dan tingginya harga kedelai di pasar dunia (Goulart et al., 2023).

Di Indonesia kedelai termasuk dalam tiga komoditas tanaman pangan utama bersama dengan padi dan jagung. Kedelai merupakan sumber protein nabati utama yang dapat dibuat menjadi berbagai olahan seperti tempe, tahu, kecap, susu kedelai, dan masih banyak lagi. Pesatnya perkembangan industri pangan berbahan dasar kedelai telah meningkatkan kebutuhan akan kedelai dalam negeri (Swastika, 2022). Namun produksi kedelai dalam negeri belum dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu kendala yang dihadapi oleh petani lokal adalah kondisi cuaca dan iklim. Hal ini dikarenakan kedelai merupakan tanaman musiman yang bergantung pada siklus air dan cuaca dalam menjaga produktivitasnya (Herlina et al., 2019). Salah satu upaya yang dilakukan oleh pemerintah untuk mencukupi kebutuhan kedelai di dalam negeri adalah dengan melakukan impor (Grace et al., 2021). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2017-2023 negara Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina menjadi tiga negara importir kedelai utama di Indonesia. Oleh karena itu, pemilihan ketiga negara tersebut sebagai lokasi penelitian bukanlah tanpa alasan.

Fenomena global yang sering terjadi dan mempengaruhi cuaca dan iklim adalah *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Madden Julian Oscillation* (MJO), dan *monsoon*. ENSO merupakan fenomena interaksi laut dan atmosfer yang terjadi di wilayah ekuator Samudra Pasifik dan dapat menyebabkan terjadinya anomali iklim global (Pasha et al., 2022). Tercatat pada tahun 1983, ENSO menjadi satu-satunya dalam sejarah yang mampu menyebabkan terjadinya kegagalan panen secara global (Anderson et al., 2019). Penelitian yang dilakukan oleh (Arias et al., 2024) menyimpulkan terjadinya kekeringan di Amerika Selatan khususnya Argentina yang menyebabkan terjadinya kegagalan panen jagung dan kedelai salah satu penyebabnya adalah ENSO. Selain ENSO, fenomena global yang sering terjadi dan mempengaruhi cuaca dan iklim adalah MJO dan *monsoon*.

MJO merupakan sirkulasi atmosfer yang terjadi di wilayah ekuator dengan periode osilasi harian yang berdampak pada cuaca dan iklim di seluruh dunia (Ariska et al., 2022). MJO dapat menyebabkan terjadinya berbagai fenomena yang menarik di atmosfer seperti *monsoon* (Zhang, 2015). *Monsoon* merupakan pergeseran

musiman yang disebabkan oleh sirkulasi atmosfer yang lebih rendah, terutama angin permukaan dan berkaitan dengan curah hujan yang menyebabkan pola musim panas yang basah dan musim dingin yang kering. Penelitian yang dilakukan oleh Lin et al. (2010) menyimpulkan adanya pengaruh signifikan antara MJO dan terjadinya anomali curah hujan di Kanada. Penelitian lainnya dilakukan oleh Yao dan Wang (1997) menjelaskan bagaimana monsoon Amerika Utara mempengaruhi intensitas curah hujan dan kelembapan serta terjadinya badai di Amerika Serikat. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh (Tseng et al., 2023) menyelidiki adanya pola telekoneksi di atas Samudra Atlantik yang terbentuk karena adanya *monsoon* musim panas Amerika Selatan pada bulan Januari dan Februari yang menyebabkan terjadi anomali curah hujan di Amerika Utara, Siberia, dan Eurasia. Terjadinya anomali curah hujan tentu saja akan berdampak buruk pada produktivitas tanaman khususnya kedelai yang bergantung pada kondisi cuaca dan siklus air dalam menjaga produktivitasnya (Malau et al., 2023).

Besarnya pengaruh cuaca dan iklim terhadap produktivitas tanaman menjadikan penelitian tentang pengaruh fenomena global terhadap fluktuasi produktivitas tanaman menjadi penting untuk dilakukan agar dapat melakukan langkah-langkah mitigasi dan adaptasi pertanian yang efektif dalam menghadapi tantangan perubahan iklim terhadap ketahanan pangan. Berpedoman pada penelitian sebelumnya, studi penelitian ini bertujuan untuk memantau pengaruh prediktor iklim seperti ENSO, MJO, dan *monsoon* terhadap fluktuasi produktivitas kedelai di Lokasi Penelitian dan dapat menemukan solusi yang tepat untuk menghadapi tantangan perubahan iklim terhadap ketahanan pangan.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Membuat model hubungan antara pengaruh ENSO, MJO, dan *Monsoon* terhadap fluktuasi produktivitas kedelai di Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode regresi polinomial.
2. Menganalisis pengaruh ENSO, MJO, dan *monsoon* terhadap fluktuasi produktivitas kedelai di Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina menggunakan *percent correct*.

1.2.2 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat penelitian yaitu:

1. Hasil pemodelan pengaruh prediktor (ENSO, MJO, *Monsoon*) akan memberikan pengetahuan tentang bagaimana pengaruh ketiga prediktor terhadap fluktuasi produktivitas kedelai yang akan membantu dalam mitigasi dan adaptasi dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

2. Hasil analisis akurasi model pengaruh prediktor mampu memprediksi dan mengidentifikasi fenomena iklim yang paling berpengaruh terhadap fluktuasi Produktivitas kedelai yang dapat digunakan untuk merancang mitigasi pertanian yang lebih efektif dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Kedelai

Kedelai merupakan sumber utama minyak nabati dan protein nabati di seluruh dunia karena tingkat asam aminonya yang tinggi sebagai sumber protein nabati, kedelai disebut sebagai "*Gold from the soil*" dan "*The World's Miracle*" karena peran pentingnya dalam menyediakan makanan yang kaya nutrisi (Hulu, 2023). Di Indonesia kedelai termasuk ke dalam tiga komoditas tanaman pangan utama bersama dengan padi dan jagung setelah itu diikuti oleh tebu dan daging sapi (Saranani et al., 2021).

Kedelai dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia dengan mengolahnya menjadi berbagai produk makanan seperti tahu, tempe, kecap, susu, dan lainnya. Permintaan akan kedelai terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi setiap tahun. Kebutuhan kedelai di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Tercatat kebutuhan kedelai pada tahun 2012 mencapai 2.2 juta ton, meningkat dari 2.16 juta ton pada tahun sebelumnya. Ditinjau dari data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi kedelai lokal pada tahun 2011 hanya mencapai 851,286 ribu ton, atau 29% dari kebutuhan, sehingga Indonesia harus mengimpor 2,087,986 juta ton kedelai untuk memenuhi 71% kebutuhan kedelai dalam negeri. Ini menunjukkan bahwa produksi dalam negeri rata-rata hanya mampu memenuhi kebutuhan antara 25-30%, dan sisanya diperoleh melalui impor (Saputra et al., 2023). Negara Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina menempati urutan tiga teratas sebagai negara importir kedelai ke Indonesia. Tercatat pada tahun 2022 Indonesia mengimpor sebanyak 1,928,076.9 juta ton kedelai dari Amerika Serikat disusul oleh Kanada sebanyak 287,991.8 ribu ton dan Argentina sebanyak 60,823.0 ribu ton (BPS, 2023). Salah satu tantangan produksi kedelai adalah faktor perubahan iklim. Hal ini dikarenakan kedelai termasuk tanaman yang sangat sensitif terhadap perubahan iklim. Penelitian yang dilakukan oleh Ruminta et al. (2020) mengidentifikasi, kedelai sebagai komoditas tanaman yang sensitif terhadap perubahan iklim karena ditemukan adanya korelasi yang signifikan antara penurunan produksi kedelai dengan perubahan suhu udara dan curah hujan yang dapat menyebabkan terjadinya banjir ataupun kekeringan.

1.3.2 *El Nino* Southern Oscillation (ENSO)

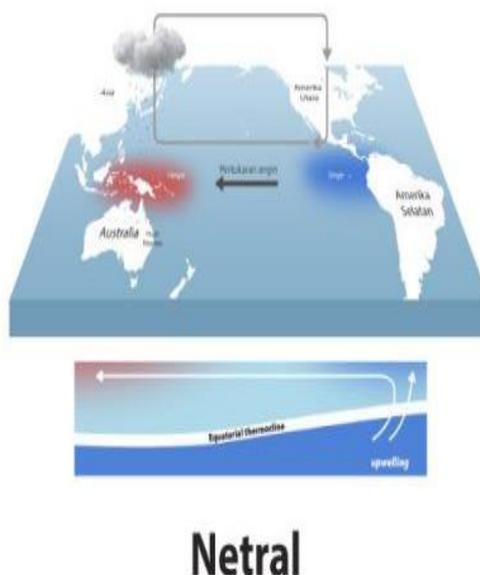
Trenberth & Caron dalam Pasha et al. (2022) mendeskripsikan, *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) adalah fenomena interaksi laut dan atmosfer yang terjadi di wilayah ekuator Samudra Pasifik dan dapat menyebabkan terjadinya anomali iklim global. Laut yang dimaksud yaitu kolam panas dan atmosfer dimaksud yaitu tekanan

udara, suhu, dan awan yang terbentuk (Suhadi et al., 2023). *El Nino* merujuk pada suhu permukaan laut luar biasa hangat di sepanjang Pantai Peru dan meluas ke timur dan tengah Samudra Pasifik terjadi sekitar waktu Natal yang berlangsung setiap 2-7 tahun (Chang & Zebiak, 2015). Fenomena ENSO menyebabkan variabilitas curah hujan berdampak buruk pada sektor pertanian karena dapat menyebabkan terjadinya kekeringan dan juga bencana banjir yang berpengaruh terhadap produktivitas tanaman khususnya tanaman pangan seperti padi, jagung, dan kedelai yang merupakan komoditas tanaman pangan utama di Indonesia (Malau et al., 2023). Selama musim tanam di Amerika Serikat bagian tengah yang merupakan zona produksi pertanian utama dunia, respon meteorologi terhadap fenomena ENSO ini dapat berdampak besar terhadap hasil panen (Jong et al., 2021).

ENSO terdiri dari tiga fase yaitu *El Nino*, netral, dan *La Nina* (Ullum et al., 2024). Tercatat pada tahun 1983, ENSO menjadi satu-satunya dalam sejarah yang mampu menyebabkan terjadinya kegagalan panen secara global (Anderson et al., 2019).

1. Fase Netral ENSO

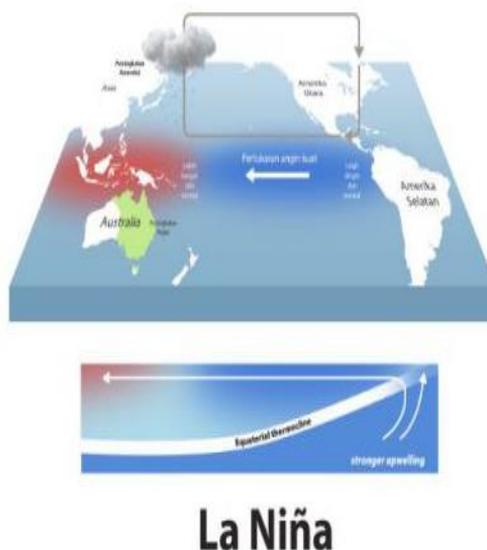
Pada fase netral, angin pasat bertiup dari Pasifik timur (Amerika Selatan dan Tengah) membawa air permukaan yang hangat ke bagian Pasifik barat (Australia dan Asia). Angin ini menumpuk air permukaan yang lebih hangat di bagian Pasifik barat sedangkan suhu air di Pasifik timur lebih rendah karena angin pasat menyebabkan air yang lebih dingin naik dari dalam. Perbedaan suhu air di Samudra Pasifik menyebabkan air naik ke bagian Australia dan turun ke dekat Amerika Selatan. Peristiwa ini disebut siklus Walker (BOM,2024). Hal ini menyebabkan terjadinya hujan di Australia dan Pasifik barat (NOAA, 2024).



Gambar 1. ENSO Fase Netral (BMKG, 2024)

2. Fase *La Nina*

Pada fase *La Nina*, angin pasat bertiup lebih kencang dari biasanya yang memperluas kolam hangat disisi Asia dan Australia di kawasan Pasifik tropis dan mendinginkan lautan menuju Amerika Selatan sehingga meningkatkan perbedaan suhu Pasifik timur dan barat yang membuat siklus Walker semakin kuat dan angin pasat bertiup lebih kencang lagi (BOM, 2024). Hal ini menyebabkan resiko banjir yang lebih parah, suhu yang lebih rendah di siang hari, dan banyaknya badai tropis di Indonesia (BMKG, 2024). Sementara di Amerika Selatan cenderung lebih kering yang dapat mengakibatkan terjadinya kekeringan karena berkurangnya produksi awan dan curah hujan di wilayah tersebut (National Geographic, 2024). Penelitian yang dilakukan oleh (Arias et al., 2024) menemukan adanya korelasi kuat antara terjadinya defisit curah hujan di wilayah Amerika Selatan Tengah khususnya Argentina dengan fenomena *La-Nina* yang menyebabkan terjadinya kekeringan yang berdampak pada terjadinya penurunan produksi tanaman jagung dan kedelai di musim kemarau tahun 2017-2018. Hal ini memberikan dampak kerugian sebesar US\$ 4600 juta terhadap ekonomi Argentina.

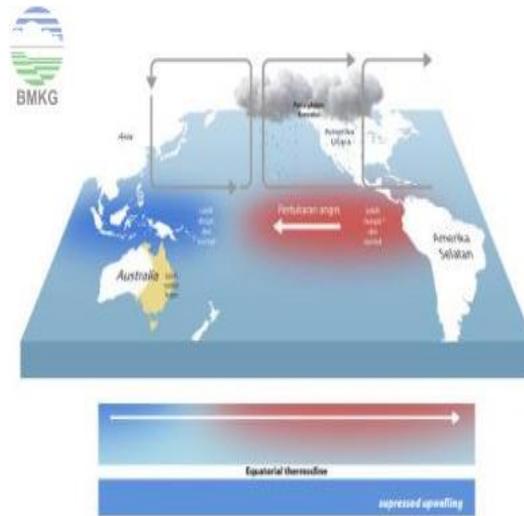


Gambar 2. ENSO Fase *La Nina* (BMKG, 2024)

3. Fase *El Nino*

Pada fase *El Nino*, angin pasat justru semakin melemah bahkan berbalik arah sehingga menyebabkan air hangat berbalik arah ke timur yang mengakibatkan siklus Walker terganggu karena perubahan pola suhu lautan. Dengan berpindahnya kolam hangat ke Pasifik timur menyebabkan penguapan, awan, dan hujan menjauh dari kawasan Asia dan Australia (BOM, 2024). Hal ini semakin memperbesar potensi terjadinya kekeringan di Australia (Pasifik barat)

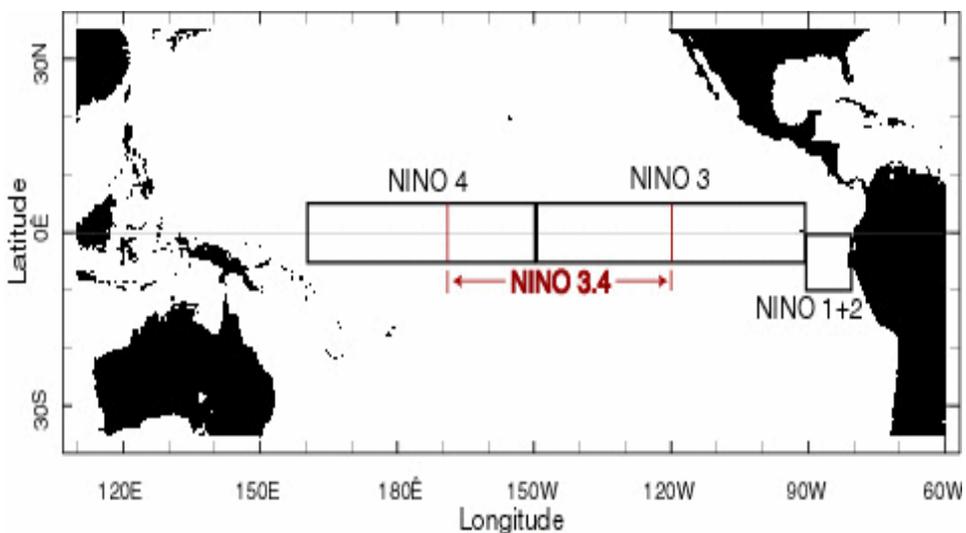
sedangkan di sisi lain *El Nino* menyebabkan terjadinya banjir ekstrem di bagian Amerika Selatan (NOAA, 2024).



El Niño

Gambar 3. Fase *El Nino* (BMKG, 2024)

Untuk mendefinisikan kejadian *El Nino* dan *La Nina*, **indeks Nino 3.4** adalah yang paling umum digunakan. Pemantauan kondisi ENSO menggunakan index Nino 3.4 berdasarkan pada nilai anomali suhu permukaan laut di wilayah Nino 3.4 (5°N - 5°S , 120°W - 170°W). Anomali SST yang sama dengan atau lebih besar dari $0,5^{\circ}\text{C}$ selama 5 bulan berturut-turut disebut fase *El Nino* sementara anomali yang kurang dari atau sama dengan $-0,5^{\circ}\text{C}$ dikaitkan dengan fase *La Nina* (Abdullah, 2021).



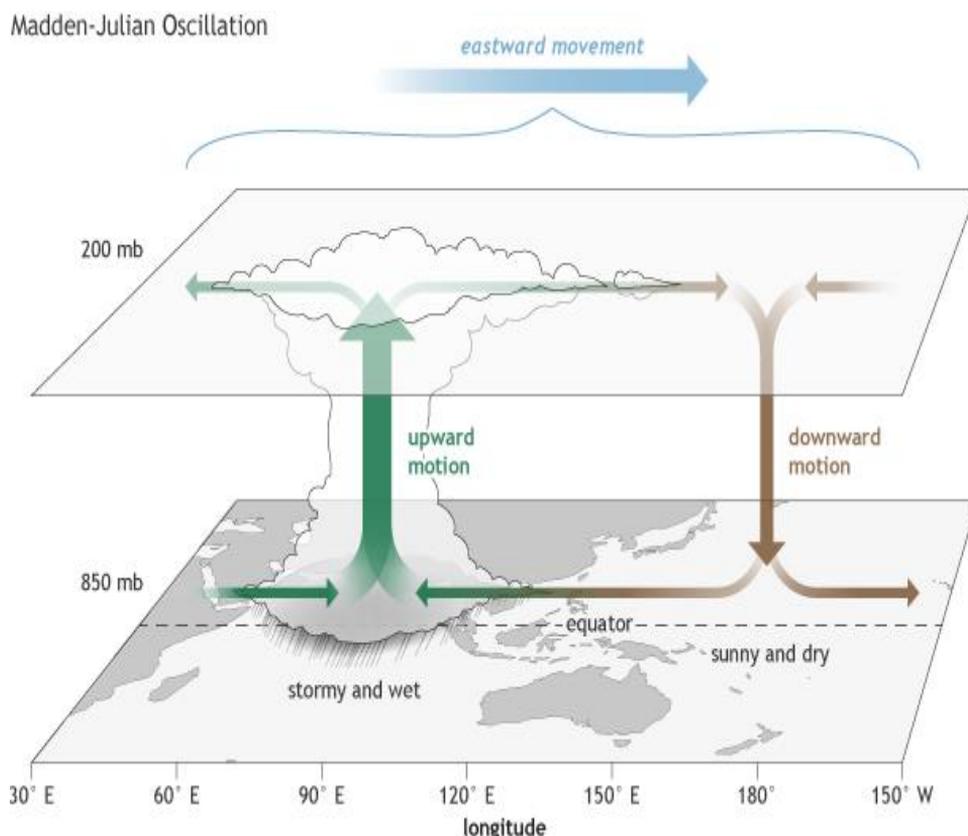
Gambar 4. Wilayah Nino 3.4 (NOAA, 2024)

1.3.3 Madden Julian Oscillation (MJO)

Madden Julian Oscillation (MJO) adalah fenomena sirkulasi atmosfer skala regional atau osilasi intraseasonal yang berlangsung selama 30-60 hari dan terjadi di lapisan troposfer wilayah tropis. MJO bergerak dari Samudra Hindia ke Samudra Pasifik Tengah. MJO dapat mempengaruhi pola cuaca di seluruh dunia dengan mengubah pola awan, hujan, dan angin di sepanjang garis khatulistiwa (Hasibuan et al., 2023).

MJO memberikan pengaruh yang signifikan terhadap anomali curah hujan di Amerika Serikat dan Kanada (Arcodia et al., 2020). Terjadinya anomali curah hujan tentu saja akan berdampak buruk pada produktivitas tanaman khususnya tanaman pangan (Malau et al., 2023). Penelitian lainnya dilakukan oleh (Anderson et al., 2020) menemukan adanya pengaruh MJO tersebar luas di berbagai daerah tropis dan subtropis yang dapat meningkatkan atau mengurangi hasil panen jagung.

MJO terdiri dari dua bagian yaitu curah hujan yang meningkat (atau konvektif) dan curah hujan yang ditekan. Aktivitas MJO yang intens, sering kali menyebabkan planet ini dibagi menjadi dua. Satu bagian berada dalam fase konvektif yang meningkat dan yang lainnya berada dalam fase konvektif yang ditekan hal ini ditunjukkan pada (Gambar 5).



Gambar 5. Proses terjadinya MJO fase konvektif dan fase curah hujan ditekan (Gottschalck, 2014)

Dalam fase konvektif yang meningkat, angin di permukaan bertemu dan udara didorong ke atas melalui atmosfer. Di bagian atas atmosfer, angin berbalik arah, atau menyimpang. Gerakan udara yang naik di atmosfer cenderung meningkatkan kondensasi dan curah hujan. Sedangkan pada fase curah hujan yang ditekan, angin bertemu di bagian atas atmosfer, memaksa udara turun dan kemudian menyimpang di permukaan. Saat udara turun dari ketinggian, udara menjadi hangat dan kering, yang menekan curah hujan. Gambar 5 menunjukkan bahwa struktur dipol ini bergerak dari barat ke timur seiring waktu di wilayah tropis. Ini menyebabkan peningkatan kekeruhan, curah hujan, dan bahkan badai pada fase konvektif yang ditingkatkan, serta peningkatan sinar matahari dan kekeringan pada fase konvektif yang ditekan. MJO sangat penting untuk memprediksi cuaca dan iklim jangka panjang di Amerika Serikat dan banyak wilayah lainnya karena perubahan curah hujan dan angin yang dijelaskan di atas berdampak pada wilayah tropis dan ekstratropis. Meskipun MJO dominan di daerah tropis beberapa kali MJO memberikan pengaruh terhadap kejadian ekstrem di Amerika Serikat.

Dampak yang ditimbulkan oleh MJO hampir serupa dengan ENSO, namun hanya muncul dalam skala waktu mingguan sebelum berubah (Gottschalck, 2014). Pada lingkungan yang cukup basah, penurunan curah hujan yang disebabkan oleh MJO mengurangi tutupan awan, meningkatkan radiasi matahari, dan meningkatkan hasil panen. Di lingkungan yang kering dan panas, MJO juga berkontribusi terhadap kegagalan panen dengan mengurangi curah hujan, mengurangi kelembaban tanah, dan meningkatkan stres panas (Anderson et al., 2020).

MJO mengorbit bumi dalam 8 fase (Maharani & Rejeki, 2021). Fase 1 MJO sering kali dimulai dari wilayah Samudra Hindia bagian barat tropis dan kemudian menghilang di atas perairan dingin Samudra Pasifik tengah (Wang et al., 2021). Diagram Hovmoller dapat digunakan untuk menganalisis fase MJO. Secara umum, fase 1 terjadi di Afrika, fase 2 terjadi di Samudra Hindia bagian barat, fase 3 terjadi di Samudra Hindia bagian timur, fase 4 dan 5 terjadi di benua Maritim Indonesia, fase 6 terjadi di kawasan Pasifik bagian barat, fase 7 terjadi di kawasan Pasifik tengah, dan fase 8 terjadi di wilayah belahan bumi bagian barat dan Afrika (Makhfudz et al., 2023).

Amplitudo harian MJO ditentukan berdasarkan **indeks Real-time Multivariate MJO (RMM)** yang dikembangkan oleh Wheeler dan Hendon (2004). Amplitudo harian ini yakni akar kuadrat dari jumlah dua indeks RMM yang dikuadratkan (Wang et al., 2021).

$$\text{Amplitudo MJO} = \sqrt{RMM1^2 + RMM2^2} \quad (1)$$

Dimana :

RMM 1 = Index RMM fase 1

RMM 2 = Index RMM fase 2

Indeks Multivariate MJO (**RMM1 dan RMM2**) adalah index yang digunakan untuk memantau MJO yang didasarkan pada analisis Empirical Orthogonal Function (EOF) menggunakan data rata-rata angin zonal pada lapisan 850 hPa dan

200 hPa serta data Outgoing Longwave Radiation (OLR) yang masing-masing dirata-ratakan pada wilayah 15°S–15°N (Madani et al., 2012).

1.3.4 *Monsoon* Amerika Utara dan *Monsoon* Amerika Selatan

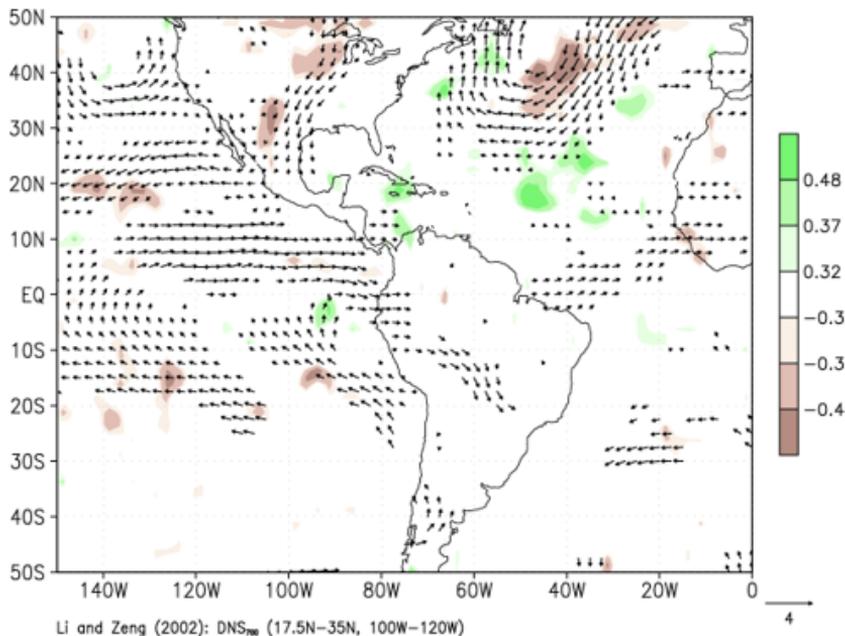
Monsoon berasal dari bahasa Arab "Mausam", yang berarti musim, dan didefinisikan sebagai angin yang berubah arah selama setahun atau yang bertiup musiman, dan merupakan sistem sirkulasi regional (Pandia et al., 2019). Secara umum, istilah "*monsoon*" mengacu pada pergeseran musiman yang disebabkan oleh sirkulasi atmosfer yang lebih rendah, terutama angin permukaan dan berkaitan dengan curah hujan yang menyebabkan pola musim panas yang basah dan musim dingin yang kering. Sebenarnya, fenomena *monsoon* tidaklah jauh berbeda dengan fenomena angin laut, hanya berbeda pada skala waktu dan ruang. Fenomena angin laut hanya terjadi antara darat dan laut, sedangkan fenomena *monsoon* terjadi di benua dan samudra yang tidak hanya mencakup faktor curah hujan, tetapi juga faktor arah dan kecepatan angin. Sirkulasi *monsoon* terjadi di banyak tempat di seluruh dunia termasuk di Indonesia dan Amerika (Hermawan, 2015a). *Monsoon* tidak selalu berjalan secara normal kadang-kadang saling menguatkan, kadang-kadang melemahkan. Semua *monsoon* dapat berinteraksi satu sama lain yang disebut telekoneksi. Tidak hanya telekoneksi sesama *monsoon* namun juga terhadap fenomena iklim lain seperti ENSO dan MJO (Hermawan, 2015).

Monsoon Amerika Utara atau *North American Monsoon* (NAM) merupakan ciri sirkulasi atmosfer yang penting di Benua Amerika (Yao & Wang, 1997). Istilah "*Monsun Amerika Utara*" merujuk pada wilayah daratan kecil dengan topografi rumit di atas Amerika Serikat barat daya dan Meksiko barat laut (bertiup dari Barat) (He et al., 2020). *Monsoon* Amerika Utara, juga disebut sebagai *monsoon* Amerika Barat Daya, *monsoon* Meksiko, atau *monsoon* Arizona. Meskipun pengaruhnya tidak seintens *monsoon* lainnya namun cukup memberikan pengaruh untuk wilayah Amerika Barat Daya seperti memicu terjadinya badai ekstrem dan mempengaruhi suhu dan kelembapan serta intensitas curah hujan (Yao & Wang, 1997). Terjadinya berbagai anomali iklim tentu akan pada berbagai aspek kehidupan termasuk ketersediaan bahan pangan.

Selain *monsoon* Amerika Utara di Benua Amerika juga terdapat *monsoon* Amerika Selatan atau *South American Monsoon* (SAM). SAM bermula di Dataran Tinggi Brasil yang kemudian menyebar ke utara pada awal bulan Oktober dan mencapai fase matang di bulan Desember, Februari dan berakhir di bulan April. Siklus presipitasi tahunan SAM berasal dari sirkulasi angin pasat timur yang berasal dari Samudra Atlantik dimana siklus tersebut merupakan siklus presipitasi paling menonjol terjadi di Amazon selatan (Clivar, 2024).

Monsoon dicirikan dengan menggunakan **nilai indeks** mengingat *monsoon* berfungsi sebagai pembawa uap air dan karakteristik sifat udara lainnya (Hermawan, 2015). Untuk *monsoon* Amerika Utara, *index monsoon* yang paling cocok adalah *North American Summer Monsoon Index* (NASMI). **Index NASMI** didefinisikan

sebagai rata-rata angin musiman pada bulan Juli, Agustus, September (JAS) yang dinormalisasi secara dinamis pada ketinggian 700 hPa dalam wilayah *monsoon* Amerika Utara (17,5°-10°LS, 100°-120°W). Sedangkan untuk *monsoon* Amerika Selatan, index *monsoon* yang cocok adalah *South Amerikan Summer Monsoon Index* (SASMI). **Index SASMI** didefinisikan sebagai rata-rata angin musiman pada bulan Desember, Januari, Februari, Maret (DJFM) yang dinormalisasi secara dinamis pada ketinggian 925 hPa dalam wilayah *monsoon* Amerika Utara (17,5°-35°LU, 50°-62,5°W). (Lin & Zeng, 2002, 2003, 2005).



Gambar 6. Wilayah *Monsoon* Amerika (EAC, 2024)

1.3.5 Normal Iklim dan Anomali Iklim

Anomali iklim adalah penyimpangan nilai dari rata-rata normalnya. Mengacu pada aturan *World Meteorological Organization* (WMO) nilai rata-rata **normal iklim** dihitung berdasarkan nilai rata-rata dalam rentang waktu selama 30 tahun untuk saat ini yang digunakan adalah normal iklim 1981-2010.

Salah satu cara menghitung nilai anomali (penyimpangan) adalah dengan selisih nilai data aktual pada waktu tertentu dengan nilai rata-rata normalnya. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut (Bappenas, 2018):

$$Xa = X_i - \bar{X} \quad (2)$$

Dimana:

Xa = Nilai anomali pada waktu ke-i

X_i = Nilai aktual pada waktu ke-i

\bar{X} = Nilai rata-rata normal pada periode tertentu

1.3.6 Percentile

Percentile adalah suatu metode yang membagi data atau nilai menjadi 100 bagian yang sama besar. Di mana data akan diurutkan dari yang terkecil ke terbesar pada suatu batas tertentu yang akan menghasilkan nilai persentase lebih kecil, sama, atau lebih besar dari nilai tersebut (Neolaka dalam (Hayati, 2020)). Dalam konteks anomali iklim percentile digunakan untuk mengklasifikasikan nilai anomali ke dalam kategori-kategori yang bervariasi seperti “lemah”, “sedang”, “kuat”, “rendah”, dan “tinggi.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan (Safril et al., 2021) menggunakan metode percentile untuk mengklasifikasikan anomali curah hujan dalam 3 kategori yang berbeda sebagai berikut.

<P33	: Lemah/rendah
P33-P66	: Sedang
>P66	: Kuat/tinggi

Rumus percentile yang diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar yaitu (Roji, 2022):

$$Letak P_i = \frac{i(n+1)}{100} \quad (3)$$

$$Nilai P_i = X_i + d(X_{i+1} - X_i) \quad (4)$$

Dimana:

P_i = Nilai percentile ke-1,2,3, dst.

i = Data ke 1,2,3,...99

n = Banyak data

X_i = Nilai data percentile ke-i

d = Selisih nilai data dengan percentile ke-i

X_{i+1} = Nilai data yang berada satu tingkat di atas percentile ke-i

Selain menggunakan rumus di atas kita juga dapat menggunakan rumus percentile di Microsoft Excel berikut:

$$= PERCENTILE(Array, k) \quad (5)$$

Dimana:

Array = Rentang data yang dipilih

k = percentile yang ingin dicari 0.01, 0.02, dst.

1.3.7 Metode Regresi Linear Sederhana

Metode regresi linear sederhana merupakan metode statistik yang digunakan untuk membentuk sebuah model pengaruh antara satu variabel bebas (independent) yang biasa diibandingkan dengan (x) terhadap satu variabel terikat (dependen) yang biasa dilambangkan dengan (y). Variabel independent merupakan variabel yang mempengaruhi (sebab) sedangkan variabel dependen adalah variabel yang

dipengaruhi (akibat). Persamaan regresi linear sederhana dapat dilihat pada persamaan (6) :

$$y = a + bx \quad (6)$$

Dimana:

x = Variabel bebas (predictor)

y = Variabel terikat (response)

a = Gradien

b = Konstanta regresi (slope)

Besarnya nilai gradien dan konstanta dapat ditentukan melalui persamaan (7) dan (8) berikut:

$$a = (\Sigma y - b(\Sigma x))/n \quad (7)$$

$$b = \frac{(n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y))}{(n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2)} \quad (8)$$

Dimana:

n = Jumlah data

1.3.8 Metode Regresi Polinomial

Metode regresi polinomial merupakan metode analisis statistik dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh masing-masing variabel prediktor (x) yang dipangkatkan meningkat sampai orde ke- n . Regresi polinomial dapat menggambarkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sebagai fungsi polinomial. Analisis regresi membuat peramalan atau perkiraan nilai variabel terikat pada nilai variabel bebas lebih akurat. Selain itu, analisis ini menentukan apakah model persamaan yang akan digunakan untuk prediksi itu signifikan atau tidak. Bentuk umum persamaan regresi polinomial dapat dilihat pada persamaan (9) (Firdaus et al., 2020):

$$y_i = a + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_mx^m + e \quad (9)$$

Dimana:

y_i = Variabel terikat (dependen)

x = Variabel bebas (independen)

a = Konstanta (titik potong garis regresi dan sumbu vertikal y)

b = Slope (koefisien regresi)

e = Error (residu)

m = Orde polinomial

n = Jumlah data

1.3.9 Percent Correct (PC)

PC menunjukkan seberapa besar prediksi kejadian tersebut benar. Kategori ini akan memberikan hasil dalam bentuk nilai akurasi dan menjawab pertanyaan tentang

berapa persentase hasil prediksi yang benar. Nilai sempurna adalah jika PC bernilai 1 yang menunjukkan semua prediksi benar, sedangkan PC bernilai 0 menunjukkan semua prediksi salah. Persamaan PC dapat dilihat pada persamaan (10)(Riya et al., 2024):

$$PC = \text{Hist} + \text{Correct Negatives} / \text{Total} \quad (10)$$

Dimana:

Hist = Jumlah prediksi benar positif

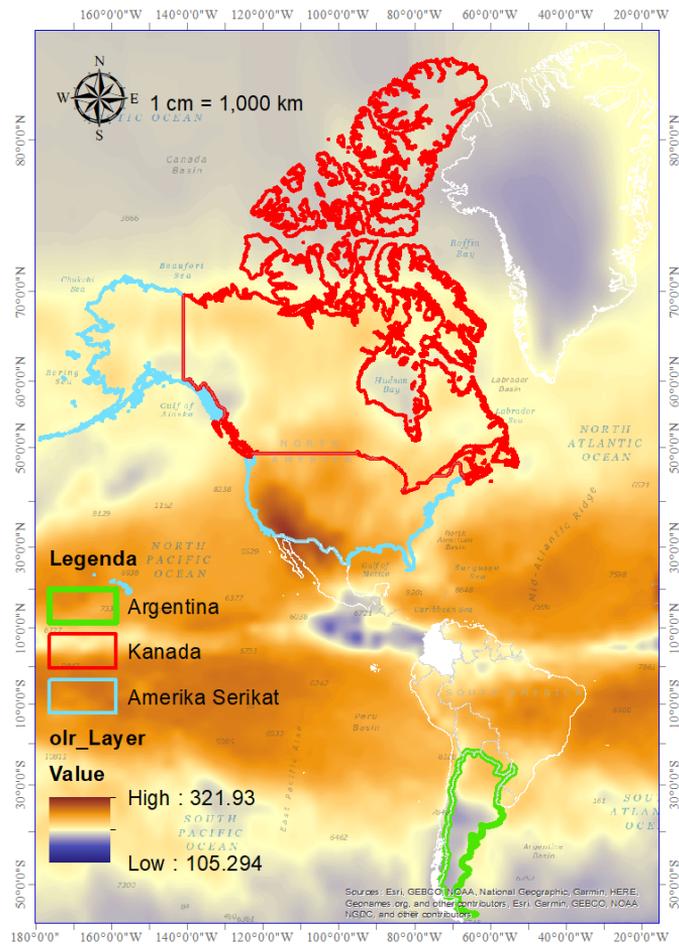
Correct Negatives = Jumlah prediksi benar negatif

Total = Jumlah seluruh data

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina. Hal ini dikarenakan ketiga negara tersebut merupakan negara importir kedelai terbanyak berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia dari tahun 2017-2023. Tercatat bahwa pada tahun 2022 Indonesia mengimpor kedelai sebanyak 1,928,076.9 juta ton kedelai dari Amerika Serikat disusul oleh Kanada sebanyak 287,991.8 ribu ton dan Argentina sebanyak 60,823.0 ribu ton.



Gambar 7. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ArcGis 10.8*, *Microsoft Excel 2013*, *Notepad*, dan *Matlab R2017b*.

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Data produksi kedelai

Data produksi kedelai yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data yang diperoleh dari *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database* (FAOSTAT) yang merupakan basis data statistik global yang menyediakan data pangan dan pertanian dari lebih 245 negara di dunia. Data yang didapatkan berupa data produksi kedelai pertahun dari negara Amerika Serikat, Kanada, dan Argentina dimulai tahun 1982-2022.

(<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).

2. Data *El Nino Southern Oscillation* (ENSO)

Data ENSO yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) menggunakan index Nino 3.4 dalam bentuk data bulanan dimulai tahun 1982-2022 yang kemudian dirata-rata pertiga bulan/perseason.

(<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.91-20.ascii>).

3. Data *Madden Julian Oscillation* (MJO)

Data *index* MJO yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *Bureau of Meteorology* (BOM) menggunakan index *Real Time Multivariate* MJO (RMM) dalam bentuk data harian dimulai tahun 1982-2022 yang kemudian dirata-ratakan pertiga bulan/perseason.

(<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>).

4. Data *Monsoon* Amerika Utara dan *Monsoon* Amerika Selatan

Data *monsoon* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *East Asian Climate* (EAC) menggunakan *North Amerikan Summer Monsoon Index* (NASMI) dan *South Amerikan Summer Monsoon Index* (SAMSMI) dalam bentuk data bulanan dimulai tahun 1982-2022.

(<http://lijianping.cn/dct/page/65580>).

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data

Tahap persiapan dalam penelitian dimulai dengan membaca beberapa jurnal, buku, dan sumber literatur lain yang relevan dengan penelitian. Pada tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengunduh data yang diperlukan dalam penelitian.

2.3.2 Tahap Pengolahan Data

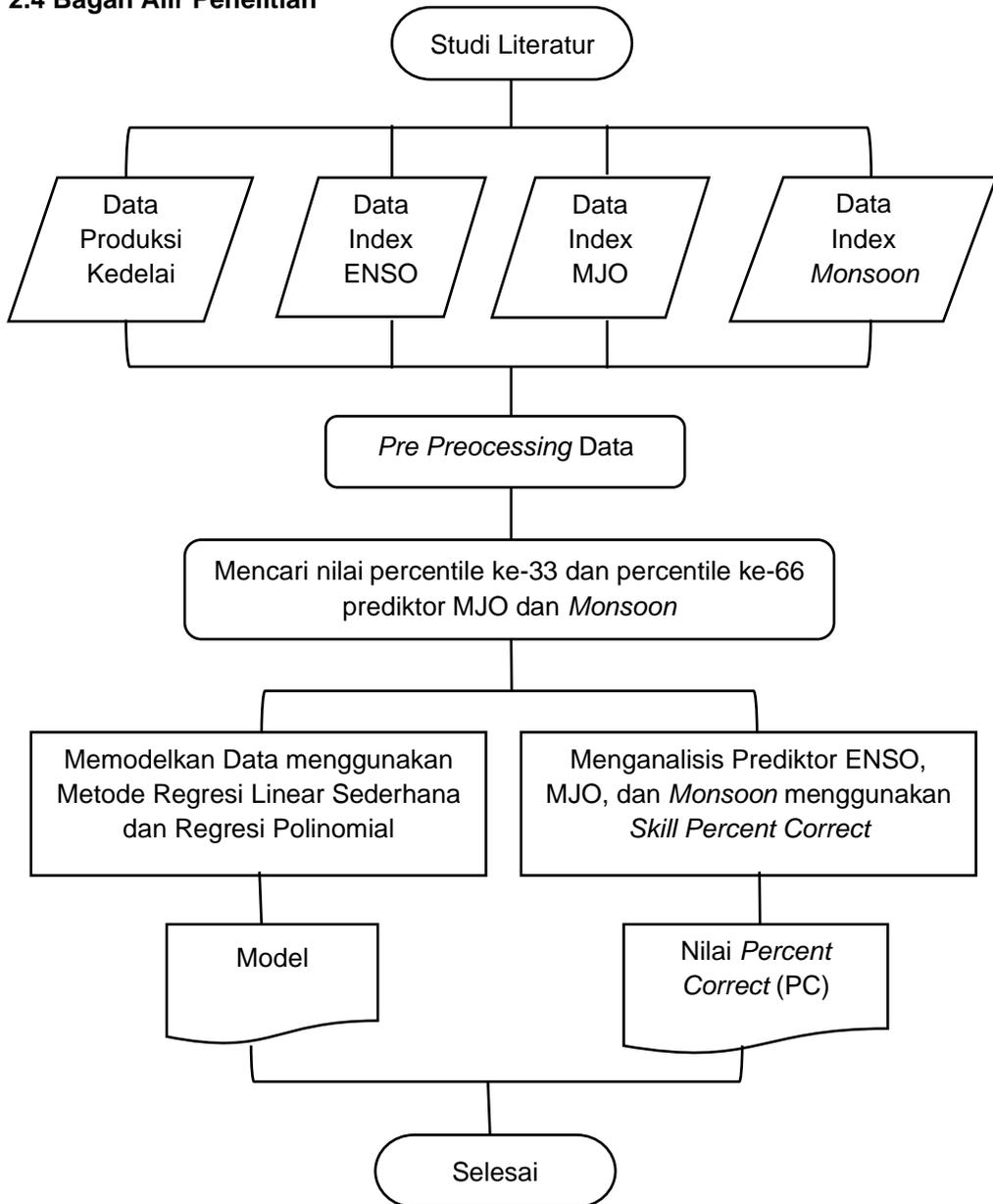
Tahap pengolahan data dalam penelitian ini yaitu:

1. Melakukan *preprocessing* data atau mempersiapkan data yang telah didapatkan sebelum diolah lebih lanjut. Data tersebut mencakup data produksi kedelai, data ENSO, data *index* MJO, dan data *monsoon*. Khusus untuk MJO dan *monsoon* dilakukan proses normalisasi data dengan cara merata-ratakan data dari tahun 1981-2010 sesuai dengan aturan WMO. Setelah mendapatkan nilai normal iklim

dilakukan proses pencarian nilai anomali data menggunakan rumus pada (***persamaan 2***). Data kemudian diolah melalui *microsoft excel* dengan menggabungkan data produksi kedelai dengan data prediktor (ENSO, index MJO) yang telah dirata-ratakan pertiga bulan/perseason mulai dari bulan Januari, Februari, Maret (JFM), Februari, Maret, April (FMA) hingga seterusnya sedangkan untuk data *monsoon* menggunakan data anomali bulanan yang tersedia. Data yang dibuat terdiri dari 13 kolom, kolom 1 yaitu data produksi kedelai dan kolom 2-13 merupakan data prediktor. Selanjutnya data akan disalin ke *notepad* dan di save dalam format.teks (.txt) yang kemudian akan diolah dengan aplikasi *Matlab R2017b*.

2. Mencari nilai percentile ke-33 dan percentile ke-66 prediktor iklim MJO dan *monsoon* untuk mengetahui klasifikasi pembagian 3 kategori anomali data MJO dan *monsoon*. Adapun cara mencari nilai percentile dengan cara manual yaitu diawali dengan mengurutkan data dari yang terkecil hingga terbesar menggunakan bantuan *microsoft excel* lewat fitur *Sort&Filter*. Selanjutnya mencari letak data percentile ke-33 dan percentile ke-66 menggunakan (***persamaan 3***). Setelah itu kita bisa mendapatkan nilai percentile dengan menggunakan (***persamaan 4***) atau menggunakan rumus percentile di *microsoft excel* yang ada di (***persamaan 5***). Selain menggunakan cara manual dapat juga dilakukan melalui *matlab*. Adapun cara mencari nilai percentile lewat *matlab* yaitu diawali dengan menyalin data anomali ke *notepad* lalu save dalam format text (.txt). Selanjutnya buka *matlab* lalu salin script yang ada di lampiran (***lampiran 11 di halaman lxxx***) lalu dirunning. Adapun langkah kerja di *matlab* meliputi:
 - a. Memuat data file txt. Menggunakan perintah “**readtable**” untuk membaca file txt.
 - b. Mengkonversi data dalam tabel ke array numerik, jika data berupa angka menggunakan perintah “**table2array**” untuk memudahkan operasi matematis
 - c. Menghitung percentile untuk membagi data menjadi 3 kategori menggunakan fungsi “**prctile**”
 - d. Menampilkan nilai persentase percentile menggunakan perintah “**length(fine(data))**”
 - e. Menampilkan batasan numerik untuk tiap kategori menggunakan perintah “**disp dan num2str**”.
3. Memodelkan data menggunakan metode regresi linear sederhana dan metode regresi polinomial. Metode regresi linear sederhana dapat memodelkan hubungan antara variabel terikat (produksi kedelai) dan variabel bebas (ENSO, MJO, dan *Monsoon*) secara linear. Metode regresi polinomial dapat meningkatkan akurasi model.
4. Mengukur nilai model prediksi dengan *Skill Percent Correct* (PC).
5. Menganalisis keakuratan hasil model prediksi pengaruh prediktor terhadap produktivitas kedelai berdasarkan nilai *Percent Correct* (PC).

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 8. Diagram Air