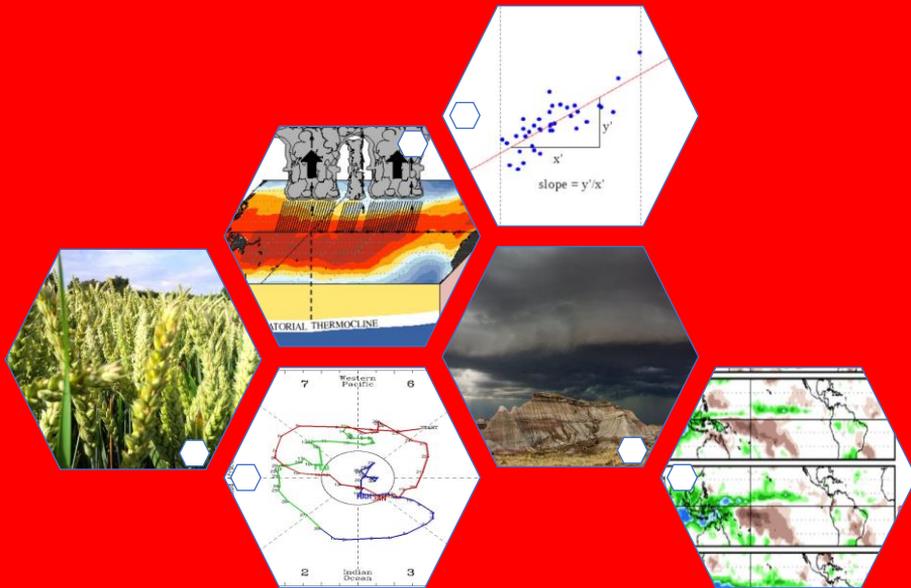


ANALISIS PENGARUH *MONSOON*, *EL-NIÑO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO)*, DAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION (MJO)* TERHADAP FLUKTUASI PRODUKTIVITAS GANDUM (STUDI KASUS: AUSTRALIA, ARGENTINA, DAN KANADA)



**WIKAL
H061 20 1079**



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

ANALISIS PENGARUH *MONSOON*, *EL-NIÑO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO), DAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION* (MJO) TERHADAP FLUKTUASI PRODUKTIVITAS GANDUM (STUDI KASUS: AUSTRALIA, ARGENTINA, DAN KANADA)

**WIKAL
H061 20 1079**



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

ANALISIS PENGARUH *MONSOON*, *EL-NIÑO SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO), DAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION* (MJO) TERHADAP FLUKTUASI PRODUKTIVITAS GANDUM (STUDI KASUS: AUSTRALIA, ARGENTINA, DAN KANADA)

**WIKAL
H061 20 1079**

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 MONSOON, EL-NIÑO SOUTHERN
OSCILLATION (ENSO), DAN MADDEN JULIAN OSCILLATION (MJO)
TERHADAP FLUKTUASI PRODUKTIVITAS GANDUM (STUDI KASUS:
AUSTRALIA, ARGENTINA, DAN KANADA)**

yang telah disusun dan diajukan oleh

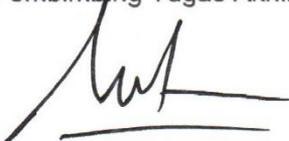
WIKAL
H061 20 1079

Skripsi,

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada tanggal 26
November 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 Departemen,



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng
NIP.19709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul “Analisis Pengaruh *Monsoon*, *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO), dan *Madden Julian Oscillation* (MJO) Terhadap Fluktuasi Produktivitas Gandum (Studi Kasus: Australia, Argentina, Dan Kanada)” 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 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, 11 November 2024



WIKAL
H061 20 1079

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan atas segala rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah SWT., karena pada kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan skripsi yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Pengaruh *Monsoon, El-Niño Southern Oscillation (ENSO)*, dan *Madden Julian Oscillation (MJO)* Terhadap Fluktuasi Produktivitas Gandum (Studi Kasus: Australia, Argentina, Dan Kanada)” ini dengan melalui berbagai proses panjang. terselesaikannya skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan dan dorongan oleh berbagai pihak yang secara konsisten memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, perkenankan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. **Rumah**. Sosok kedua orang tua penulis yang cinta kasihnya tak terhingga sepanjang masa; Ayahanda **Rusdi Kiba** dan Ibunda **Misrana**. Selama ini penulis tumbuh dengan tekad beliau, penulis mampu menyusuri banyak jalan berliku karena semangat dari beliau, bahkan penulis bertahan sampai hari ini pun karena beliau. *“Pa’, Ma’, masih panjang episode berjuangku, terima kasih untuk nda bandingkan saat jalanku lebih lambat dari teman seusiaku, terima kasih untuk nda hakimi keputusan-keputusan yang kuambil sendiri—meskipun kerap salah langkahku, banyak jatuhku, terjebakka di rute yang kupilih sendiri”*—Banyak hal-hal yang penulis semogakan untuk beliau dan belum mampu penulis wujudkan hari ini. Namun, doa dan cinta beliau menjadi penghalau badai pada jalan penulis menuju perwujudannya. *“Pa’, Ma’, terima kasih untuk sabar ta’ yang nda terukur, keyakinan yang kita’ tanamkan di saya, sama cinta ta’ yang ndda hentinya mengalir”*—**Rumah**, sebaik-baiknya tempat pulang adalah beliau. Ada banyak keresahan penulis ketika memasuki fase tugas akhir, namun menjadi tawar saat penulis pulang dan bercerita ke rumah. Rute masa depan penulis masih amat sangat panjang, maka dari itu—*tolong hidup lebih lama—“Pa’, Ma’, pada ujung waktu yang nda kutau kapan, mau jki’ tungguka’ sukses?”*.
2. Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku pembimbing utama yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, arahan, dan nasihat serta motivasi kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak **Saaduddin, M.Sc** dan **Andika, S.Si., M.Si** selaku dosen penguji pada seminar hasil dan sidang skripsi, terima kasih atas segala kritik dan saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Muhammad Alimuiddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

5. Bapak **Drs. Erfan, M.Si** selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu, memberikan saran, dan motivasi selama perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh **Dosen Departemen Geofisika, Staf Departemen Geofisika, dan Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam** atas segala ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
7. Teman – teman seperjuangan di **Geofisika 2020**—*Asmawan, Faiz, Algi, Awi, Merli, Toktok, Dire, Ansya, Ime, Astri, Regita, lis, Sandra, Emi, Taze, Resty, Icha, Milka, Izzah, Aini, Alif, Angel, Arpah, Asi, Aza, Echa, Cholis, Defina, Ema, Fadia, Golo, Guntur, Hasna, Ical, Ima, Indah, Jane, Lola, Mela, Mifta, Nikom, Nisfit, Rezky, Rianul, Riska, Selfi, Tiwi, Dayat, Wulan, Yonas, Yudi, Agung, Gery, Qalby, Umi, Hamman, Mage, Ihsan, dan Ipul*—terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penulis. Dukungan, kebersamaan, dan semangat yang diberikan sedari maba hingga saat ini tentu sangat berarti dalam menyelesaikan tanggung jawab ini. Terima kasih sudah saling membantu dan berbagi pengalaman, sehingga perjalanan ini sedikit lebih mudah dan menyenangkan. *Selamat menapaki kehidupan yang jauh lebih menantang, kawan.*
8. Teman – teman se-Nusantara “**MSIB Batch 5 Bappeda Litbang Bone Bolango, Gorontalo**”—*Wulan dari Bandung, Ikha dari Gorontalo, Vero dari Medan, Sanjay dari Jakarta, Iki dari Buol, Eriska dari Medan, Nugi dari Malang, Mario dari Jogja, Shella dari Medan, Khafit dari Jember, Annisa dari Gorontalo, Nadra dari Medan, Ipeh dari Kalimantan, Indri dari Medan, Baiq dari Kalimantan, Agi dari Buol, Aldina dari Makassar, Kartina dari Makassar, Ajeng dari Manado, Bila dari Jogja*—terima kasih atas segala keceriaan, persahabatan, dan semangat yang kalian berikan selama program magang ini. Terima kasih telah bertukar cerita dari daerah masing-masing yang akhirnya memperkaya pengalaman kita bersama. Sampai jumpa kembali di lain kesempatan.
9. Teman-teman **KKN-T Perhutanan Sosial Gel. 109 Kabupaten Wajo**—*kana, parul, kak oda, nunu, hasra, kak israil*—terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan pengabdian penulis selama 45 di *Bumi Lammadukkeng*, Kota Sutea, Kab. Wajo. Banyak pelajaran dan pengalaman yang diciptakan bersama dengan penulis selama mengemban amanah disana. Terima kasih pula kepada teman-teman pemuda Desa Sogi yang amat sangat ringan tangan untuk membantu teman-teman dan penulis dalam merealisasikan program kerjanya.
10. Teman – teman Kerja Praktik di Stasiun Meteorologi Klas I Sultan Hasanuddin, **Fadia Nurul Islami** dan **Defina Damayanti**. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan menemukan pengalaman baru. Terima kasih atas kerja sama, kerja keras, dan kerja cerdasnya selama magang di Bandara Sultan Hasanuddin Makassar. Penulis amat sangat menghargai waktu yang bisa kita habiskan dalam proses ini. Sampai jumpa di rute-rute lainnya, semangat berproses, dan selamat bertumbuh.
11. Teman – teman seperantauan dari Bua di **Kost Maspul Jaya**—*araya, komaini, sandra, ega, happy, dayya, rani, dhea, aksa, nayat*—terima kasih telah menjadi pemeran dalam babak perantauan penulis. Banyak suka dan duka selama menyanggah gelar “*anak kost*” yang jauh dari keluarga. Terima kasih untuk jasa-

- jasa baiknya selama hidup kurang lebih 4 tahun di sini. Momen-momen berharga—*makan bareng, bikin kapurung, sahur dan buka puasa*—akan selalu menjadi memori dalam ingatan penulis.
12. **T20POSFER Boys**—*Guntur Dwi Putra, Asmawan, Alghifari Ramadhan, Rezky, Andi Muhammad Imran Ismail*—terima kasih sudah menjadi saudara yang senantiasa direpotkan oleh penulis. Ada banyak jasa-jasa baik dari teman-teman sekalian yang tentunya akan senantiasa penulis ingat. Terima kasih telah siap siaga di saat penulis butuh tumpangan—*entah ke kampus atau sekedar jalan-jalan*—terima kasih untuk bantuan dan dukungan yang sampai hari ini masih sama baiknya. Tetap semangat dan tetap berbuat baik.
 13. **T20POSFER Girls**—*Fadia Nurul Islami, Arpah, Defina Damayanti*—terima kasih sudah menjadi saudari yang senantiasa direpotkan penulis. Ada banyak jasa-jasa baik dari teman-teman sekalian yang tentunya akan senantiasa penulis ingat. Terima kasih telah siap siaga di saat penulis butuh bantuan—*jatuh sakit, finansial tidak stabil*—terima kasih untuk bantuan dan dukungan yang hari ini masih sama baiknya. Semangat menajaki dunia kerja yang makin rumit, semoga jalan teman-teman senantiasa dimudahkan.
 14. Teman-teman **Circle Wotu**—*Aza Azzahra, Milka Tri Andriani, Hamman Badruttamanan Amiruddin, Andi Muhammad Imran Ismail*—terima kasih atas segala kebaikan dan kemurahan hati yang pernah diberikan kepada penulis. Terima kasih untuk keping-keping pengalaman yang bahkan sampai hari ini masih tersusun rapi dalam memori penulis. Jasa-jasa baik teman-teman tentunya akan senantiasa abadi dalam folder kenangan penulis. Terima kasih untuk tumpangan tempat tinggal, tumpangan makan, tumpangan curhat, tumpangan motor, dan semua yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Penulis memohon maaf apabila selama berteman banyak kurangnya. Intinya; *sirkel wotu, sirkel hitz*.
 15. Kanda **Sulfian, S.Si** (Geofisika 2005) dan Kanda **Syahwan, S.Si** (Geofisika 2007) yang merupakan kakak senior penulis. Terima kasih kepada kanda-kanda yang senantiasa memberikan wejangan dan petuah kepada penulis dalam menjalani kehidupan perkuliahan. Terima kasih yang tak terhingga untuk pengalaman-pengalaman berharga yang diberikan kepada penulis selama mengikuti proyek survei geolistrik di beberapa daerah. Hal ini tentunya menjadi bekal pelajaran dan pengalaman luar biasa yang bisa didapatkan oleh penulis ketika nantinya memasuki dunia kerja. Salam hormat untuk kanda-kandaku sekalian.
 16. *Home Production, well known as “KIYOWO ENTERTAINMENT”*—*siapa yang percaya bahwa saudara tak sedarah di perantauan itu nyata adanya? Saya! mereka buktinya; Abd. Rahim Nurang, Akbar Dermawan, Regita Cahyani, Annisa Nur Rahmadani Pratiwi*. Bol, terima kasih telah menjadi pemeran inti dalam babak “*perwujudan mimpi*” penulis. Masing-masing dari kalian hadir dengan membawa watak pribadi sehingga alur babaknyanya lebih menarik—*abe yang ndda habisnya dramanya, toktok yang paling tidak bisa disiplin waktu, regita dengan watak keibuannya tapi kadang manja, tiwi yang paling mandiri karna ditumpu sama revolusi*—terima kasih yang tak terhingga *bollo-bollo* ku. Hal-hal baik yang kalian bawa membantu semua jiwa kecil yang redup menjadi terang kembali.

ABSTRAK

WIKAL. Analisis Pengaruh *Monsoon*, *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO), dan *Madden Julian Oscillation* (MJO) Terhadap Fluktuasi Produktivitas Gandum (Studi Kasus: Australia, Argentina, Dan Kanada) (dibimbing oleh Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc).

Latar Belakang. Indonesia sangat bergantung pada impor gandum dari negara-negara pemasok utama seperti Australia, Argentina, dan Kanada, sehingga fluktuasi produktivitas gandum di wilayah-wilayah ini berpotensi memengaruhi ketahanan pangan nasional. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan pengaruh *Monsoon*, *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO), dan *Madden Julian Oscillation* (MJO) terhadap produktivitas gandum di Australia, Argentina, dan Kanada dengan menggunakan metode Regresi Linier, serta menganalisis tingkat akurasi model dengan menggunakan *skill Percent Correct* (PC). **Metode.** Data penelitian mencakup data produksi gandum, data indeks MJO, data *East Asian Summer Monsoon Index* (EASMI), dan data indeks ENSO dari tahun 1982 – 2022. Tahap penelitiannya mulai dari *pre-processing* data, memodelkan data dengan regresi linier sederhana dan regresi polinomial, mengukur keakuratan model prediksi dengan *skill Percent Correct* (PC), dan menganalisis hasil nilai PC untuk mengukur akurasi model. **Hasil.** Di Australia, *monsoon* kuat dan la niña berdampak positif terhadap produksi gandum, sedangkan *monsoon* lemah dan MJO kuat berdampak negatif, fase netral dari ketiga fenomena menunjukkan variabilitas tanpa tren yang konsisten. Di Argentina, *monsoon* lemah dan la niña berdampak positif, sedangkan *monsoon* kuat dan el niño berdampak negatif, fase netral memberikan hasil yang tidak konsisten. Di Kanada, *monsoon* lemah dan la niña berdampak positif, *monsoon* kuat dan MJO kuat berdampak negatif. Fase netral pada *monsoon* dan MJO menunjukkan variabilitas tanpa pola konsisten. Nilai PC tertinggi tercatat pada MJO di Argentina sebesar 53,65% dan nilai PC terendah tercatat pada ENSO di Kanada sebesar 34,14%. **Kesimpulan.** Analisis regresi menunjukkan bahwa *monsoon* kuat dan la niña umumnya berdampak positif terhadap produksi gandum, sementara *monsoon* lemah, MJO kuat, dan el niño cenderung berdampak negatif. Fase netral dari ketiga fenomena menunjukkan variabilitas tanpa pola konsisten. Model prediksi menunjukkan tingkat akurasi yang moderat, dengan beberapa prediktor mampu memprediksi lebih dari separuh kejadian, namun masih terdapat ketidakakuratan pada sebagian besar kejadian yang diamati.

Kata Kunci: Ketahanan Pangan, *Monsoon*, *Madden Julian Oscillation* (MJO), *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO), Regresi Linier, *Percent Correct* (PC)

ABSTRACT

WIKAL. **Analysis of the Effect of Monsoon, El-Niño Southern Oscillation (ENSO), and Madden Julian Oscillation (MJO) on Fluctuations in Wheat Productivity (Case Study: Australia, Argentina, and Canada)** (supervised by Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc).

Background. Indonesia relies heavily on wheat imports from key supplying countries such as Australia, Argentina, and Canada, so fluctuations in wheat productivity in these regions could potentially affect national food security. **Objective.** This study aims to model the effect of Monsoon, El-Niño Southern Oscillation (ENSO), and Madden Julian Oscillation (MJO) on wheat productivity in Australia, Argentina, and Canada using Linear Regression method, and analyze the accuracy of the model using Percent Correct (PC) skill. **Method.** The research data includes wheat production data, MJO index data, East Asian Summer Monsoon Index (EASMI) data, and ENSO index data from 1982 - 2022. The research stage starts from pre-processing the data, modeling the data with simple linear regression and polynomial regression, measuring the accuracy of the prediction model with the Percent Correct (PC) skill, and analyzing the results of the PC value to measure the accuracy of the model. **Results.** In Australia, strong monsoon and la niña had a positive impact on wheat production, while weak monsoon and strong MJO had a negative impact, the neutral phase of all three phenomena showed variability without a consistent trend. In Argentina, weak monsoon and la niña had a positive impact, while strong monsoon and el niño had a negative impact, the neutral phase gave inconsistent results. In Canada, weak monsoon and la niña had a positive impact, while strong monsoon and strong MJO had a negative impact. The neutral phase of the monsoon and MJO showed variability without a consistent pattern. The highest PC value was recorded for the MJO in Argentina at 53.65% and the lowest PC value was recorded for ENSO in Canada at 34.14%. **Conclusion.** Regression analysis showed that strong monsoon and la niña generally had positive impacts on wheat production, while weak monsoon, strong MJO and el niño tended to have negative impacts. The neutral phases of the three phenomena showed variability with no consistent pattern. The prediction models showed moderate accuracy, with some predictors being able to predict more than half of the events, but inaccuracies remained in most of the observed events.

Keywords: Food Security, Monsoon, Madden Julian Oscillation (MJO), El-Niño Southern Oscillation (ENSO), Linear Regression, Percent Correct (PC)

DAFTAR ISI

SKRIPSI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	2
1.2.1 Tujuan	2
1.2.2 Manfaat	2
1.3 Landasan Teori	3
1.3.1 Penelitian Terdahulu	3
1.3.2 Tanaman Gandum	5
1.3.3 <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO)	7
1.3.4 Monsun (<i>Monsoon</i>)	9
1.3.5 <i>El-Niño Southern Oscillation</i> (ENSO)	11
1.3.6 Metode Regresi Linear Sederhana	13
1.3.7 Metode Regresi Polinomial	15
1.3.8 <i>Percent Correct</i> (PC)	15
1.3.9 Kategorisasi Prediktor	16
BAB II METODE PENELITIAN	19
2.1 Lokasi Penelitian	19
2.2 Alat dan Bahan	19
2.2.1 Alat	19
2.2.2 Bahan	20
2.3 Pengumpulan Data	22
2.4 Pengolahan Data	22
2.5 Bagan Alir Penelitian	25
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	26

3.1 Model Pengaruh Prediktor Terhadap Fluktuasi Produktivitas Gandum	26
3.2 Verifikasi Model Menggunakan <i>Percent Correct</i> (PC).....	39
BAB IV KESIMPULAN	40
4.1 Kesimpulan	40
4.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Fase MJO (http://bom.gov.au/climate/mjo).....	8
Gambar 2. Kondisi Normal Samudra Pasifik (Climate Prediction Center, 2015)	12
Gambar 3. Kondisi El-Niño Samudra Pasifik (Climate Prediction Center, 2015)	13
Gambar 4. Kondisi La-Niña Samudra Pasifik (Climate Prediction Center, 2015) ...	13
Gambar 5. Intersep dan Slop pada Regresi Linear (Putra & Juarna, 2021)	14
Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian	19
Gambar 7. Produksi Gandum di Australia	20
Gambar 8. Produksi Gandum di Argentina	20
Gambar 9. Produksi Gandum di Kanada.....	20
Gambar 10. Time Series MJO	21
Gambar 11. Time Series Monsoon	21
Gambar 12. Time Series ENSO	22
Gambar 13. Format Data Produksi Gandum dan Data Seasonal 3 Bulanan Prediktor Pada Microsoft Excel	23
Gambar 14. Format Data Produksi Gandum dan Data Seasonal 3 Bulanan Prediktor Pada Notepad	23
Gambar 15. Script Perhitungan Regresi Linier Sederhana Pada Matlab 2017b	23
Gambar 16. Script Perhitungan Regresi Polinomial Pada MATLAB R2017a	24
Gambar 17. Script Perhitungan Percent Correct Pada MATLAB 2017a.....	24
Gambar 18. Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 19. Model Pengaruh Monsoon JJA terhadap Produksi Gandum di Australia	26
Gambar 20. Model Pengaruh ENSO OND terhadap Produksi Gandum di Australia	27
Gambar 21. Model Pengaruh MJO MAM terhadap Produksi Gandum di Australia	29
Gambar 22. Model Pengaruh Monsoon JJA terhadap Produksi Gandum di Argentina	30
Gambar 23. Model Pengaruh ENSO DJF terhadap Produksi Gandum di	32
Gambar 24. Model Pengaruh MJO AMJ terhadap Produksi Gandum di Argentina	33
Gambar 25. Model Pengaruh Monsoon JJA terhadap Produksi Gandum di Kanada	35
Gambar 26. Model Pengaruh ENSO NDJ terhadap Produksi Gandum di Kanada	36
Gambar 27. Model Pengaruh MJO NDJ terhadap Produksi Gandum di Kanada ...	38

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Negara Produsen Gandum Utama di Dunia Tahun 2014 (Praptana & Hermanto, 2016).....	6
Tabel 2. Negara Pengekspor Gandum di Dunia Tahun 2000–2005 (Praptana & Hermanto, 2016).....	7
Tabel 3. Impor Gandum Indonesia dari Negara Pemasok Utama (BPS, 2022).....	7
Tabel 4. Kategorisasi dan Batasan Nilai Prediktor.....	18
Tabel 5. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs Monsoon JJA.....	26
Tabel 6. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Monsoon.....	27
Tabel 7. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs ENSO OND.....	28
Tabel 8. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO.....	28
Tabel 9. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs MJO MAM.....	29
Tabel 10. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori MJO.....	30
Tabel 11. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs Monsoon JJA.....	31
Tabel 12. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Monsoon.....	31
Tabel 13. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs ENSO DJF.....	32
Tabel 14. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO.....	33
Tabel 15. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs MJO AMJ.....	34
Tabel 16. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori MJO.....	34
Tabel 17. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs Monsoon JJA.....	35
Tabel 18. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori Monsoon.....	36
Tabel 19. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs ENSO NDJ.....	37
Tabel 20. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori ENSO.....	37
Tabel 21. Nilai Gradien dan Intersep Model Produksi Gandum vs MJO NDJ.....	38
Tabel 22. Distribusi Kejadian dan Persentase Setiap Kategori MJO.....	39
Tabel 23. Nilai Percent Correct (PC) Prediktor.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Produksi Gandum Tahunan (1982 – 2022).....	45
Lampiran 2. Data Indeks Madden Julian Oscillation (MJO)	49
Lampiran 3. Data East Asian Summer Monsoon Index (EASMI)	59
Lampiran 4. Data Indeks <i>El-Niño Southern Oscillation</i> (ENSO)	61
Lampiran 5. Nilai <i>Percent Correct</i> (PC) Setiap <i>Season</i>	66
Lampiran 6. Script Pengolahan Data Pada Software MATLAB R2017a	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan pertanian di Indonesia telah menjadi fokus utama dalam rangka mencapai ketahanan pangan (*Food Security*) yang berkelanjutan. Sebagai negara yang bergantung pada impor untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan gandumnya, Indonesia tentunya sangat rentan terhadap fluktuasi produktivitas gandum di negara-negara pemasok utamanya, seperti Australia, Argentina, dan Kanada. Dalam konteks ini, pemahaman yang mendalam tentang faktor-faktor yang dapat memengaruhi produktivitas tanaman gandum di negara-negara ini menjadi krusial (Praptana & Hermanto, 2016).

Beberapa faktor yang diidentifikasi mampu memengaruhi produktivitas gandum adalah musim monsun, fenomena *Madden Julian Oscillation* (MJO), dan *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO). Monsun merupakan pola angin musiman yang penting dalam menentukan curah hujan di wilayah-wilayah tertentu. Monsun ini nantinya akan memengaruhi variabilitas pola iklim dan angin (Pandia, et al., 2019). *Madden Julian Oscillation* merupakan pola variabilitas intraseasonal yang dapat memengaruhi pola hujan dan suhu di berbagai wilayah (Madden & Julian, 1971). Sementara itu, *El-Niño Southern Oscillation* merupakan fenomena variabilitas iklim yang juga memengaruhi peningkatan *sea surface temperature* (SST) dan curah hujan (Millenia, et al., 2022). Ketiga fenomena ini memiliki potensi untuk memengaruhi produktivitas gandum melalui pengaruhnya terhadap kondisi anomali curah hujan di wilayah yang dilaluinya.

Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa musim monsun memiliki dampak yang signifikan terhadap pola curah hujan dan suhu di berbagai wilayah dunia, tak terkecuali pada negara-negara produsen gandum. Sebagai contoh, penelitian oleh Bowden et al. (2023) menemukan bahwa variasi ekstrem dalam musim monsun dapat menyebabkan fluktuasi produksi tanaman pangan di wilayah India, yang tentunya akan berdampak pada ketahanan pangan global. Di India, perubahan sebesar 1% pada curah hujan monsun tahunan akan menyebabkan perubahan sebesar 0,34% pada Produk Domestik Bruto (PDB) pertanian tahunan India. Hal ini tentunya berdampak signifikan pada negara yang total produksi pertaniannya menyumbang hampir 18% dari PDB. Hasil produksi diketahui sangat erat kaitannya dengan kondisi cuaca monsun dan distribusi temporalnya. Penelitian terdahulu lainnya juga telah mengungkapkan bahwasanya fenomena ENSO sangat memengaruhi produksi komoditas pangan. Pada kejadian *el-niño*, ketersediaan air berkurang sehingga menurunkan produksi dan produktivitas tanaman. Sebaliknya pada kejadian *la-niña*, ketersediaan air berlebihan dapat menyebabkan banjir. Dalam kondisi yang ekstrem keduanya berpotensi menyebabkan gagal panen (Bramawanto & Abida, 2017). Sementara itu, fenomena *Madden Julian Oscillation* (MJO) juga telah terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pola hujan dan suhu di

berbagai belahan dunia, kemungkinan besar juga akan memengaruhi produktivitas tanaman gandum.

Penelitian tentang ketahanan pangan makin relevan dalam konteks perubahan iklim global dan fluktuasi cuaca yang makin tak terduga. Peningkatan suhu global dan perubahan pola hujan dapat memengaruhi produktivitas tanaman gandum secara signifikan dan mengancam ketahanan pangan di berbagai negara. Studi oleh Harvian & Yuhan (2019) menyoroti tentang pentingnya analisis yang cermat mengenai hubungan antara kondisi variabilitas iklim dan produksi pangan untuk menginformasikan kebijakan yang lebih efektif dalam mengelola risiko terkait ketahanan pangan.

Melalui studi kasus tentang pengaruh *monsoon*, MJO, dan ENSO terhadap produktivitas tanaman gandum di Australia, Argentina, dan Kanada, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan dalam pemahaman tentang faktor-faktor yang memengaruhi produksi gandum di negara-negara pemasok utama Indonesia. Dengan memanfaatkan data indeks monsun, MJO, dan ENSO serta data produksi gandum dari berbagai sumber, penelitian ini akan menganalisis pola hubungan antara variabilitas musim monsun, MJO, ENSO, dan produksi gandum di ketiga negara tersebut.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas tanaman gandum di Australia, Argentina, dan Kanada, serta memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang potensi risiko terkait ketahanan pangan Indonesia dan juga pada ketiga negara tersebut. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan yang lebih efektif dalam mengelola risiko terkait ketahanan pangan pada masa depan.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Memodelkan pengaruh *monsoon*, *madden julian oscillation*, dan *el-niño southern oscillation* terhadap produktivitas tanaman gandum di Australia, Argentina, dan Kanada dengan menggunakan metode regresi linear.
2. Menganalisis pengaruh *monsoon*, *madden julian oscillation*, dan *el-niño southern oscillation* terhadap produktivitas tanaman gandum di Australia, Argentina, dan Kanada dengan menggunakan *skill Percent Correct* (PC).

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Pemodelan pengaruh prediktor mampu memprediksi produktivitas yang lebih akurat dan mengidentifikasi faktor iklim yang paling berpengaruh. Hal ini dapat digunakan untuk merencanakan strategi pertanian yang efektif dan mengembangkan teknik mitigasi yang lebih baik dalam menghadapi variabilitas iklim.

2. Hasil analisis pengaruh prediktor akan memberikan wawasan yang mendalam tentang bagaimana variabilitas iklim memengaruhi produktivitas tanaman gandum. Informasi ini tentunya sangat berguna untuk mengembangkan strategi adaptasi bagi para *stakeholder* dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah upaya peneliti untuk mencari perbandingan dan selanjutnya menemukan inspirasi baru untuk penelitian selanjutnya, di samping itu kajian terdahulu membantu peneliti dalam memosisikan penelitian serta menunjukkan orisinalitas dari penelitian (Ridwan, et al., 2021).

Pada bagian ini, peneliti mencantumkan berbagai hasil penelitian terdahulu terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan, kemudian membuat ringkasannya, baik penelitian yang telah terpublikasi atau belum terpublikasi (skripsi, tesis, disertasi, dan sebagainya). Dengan melakukan langkah ini, maka akan dapat dilihat sejauh mana orisinalitas dan posisi penelitian yang hendak dilakukan (Ridwan, et al., 2021). Kajian yang mempunyai relasi atau keterkaitan dengan penelitian ini antara lain: ,

1. Bowden, et al. (2023) dengan judul "*Identifying Links Between Monsoon Variability and Rice Production in India Through Machine Learning*". Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi dan mengukur hubungan antara variabilitas monsun dan produksi padi di India menggunakan teknik *machine learning*, khususnya algoritma *Random Forest* (RF).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Random Forest* (RF) dapat menjelaskan 33% variasi anomali hasil padi (RMSE = 0,215) dan 35% variasi luas panen (RMSE = 0,792), dengan tingkat akurasi 69% dalam memprediksi hasil di atas atau di bawah rata-rata, dan 77% untuk luas panen. Ketika faktor waktu dan lokasi dimasukkan, variabilitas yang dijelaskan meningkat hingga 87% untuk hasil dan 73% untuk luas panen. Area irigasi menjadi faktor terpenting yang mempengaruhi hasil, sementara fluks radiasi matahari (DSWRF) dan curah hujan total juga berperan besar, di mana hasil positif terjadi jika DSWRF melebihi 43.500 W/m² dan curah hujan di atas 800 mm. Sebaliknya, hasil negatif terjadi ketika DSWRF dan curah hujan di bawah ambang batas ini, atau saat musim monsun terlambat.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa variabilitas monsun memiliki dampak signifikan terhadap produksi padi di India, terutama pada sistem pertanian kecil. Algoritma *Random Forest* (RF) terbukti efektif dalam menjelaskan variasi hasil padi terkait sinyal iklim monsun. Penelitian ini mengungkap interaksi kompleks antara hasil panen dan luas lahan dengan variabel cuaca, serta menyoroti pentingnya faktor awal dan durasi monsun. Akses irigasi terbukti menjadi penyangga penting terhadap variabilitas monsun, sehingga peningkatan irigasi di wilayah dengan penggunaan rendah sangat diperlukan. Kesimpulan ini menekankan perlunya manajemen air berkelanjutan dan strategi adaptasi untuk menjaga ketahanan pangan di tengah perubahan iklim (Bowden, et al., 2023).

2. Da Cunha, et al. (1999) dengan judul "*ENSO Influences On Wheat Crop In Brazil*". Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh fase ENSO terhadap produksi gandum di Brasil, khususnya berfokus pada bagaimana variasi iklim ini memengaruhi hasil panen gandum. Studi ini menganalisis data hasil panen historis dari tahun 1920–1997 untuk mengukur dampak fase ENSO.

Penelitian ini menganalisis pengaruh ENSO terhadap hasil panen gandum di Brasil, khususnya berfokus pada Wilayah Selatan, yang meliputi Paraná, Rio Grande do Sul, dan Santa Catarina. Hasilnya menunjukkan bahwa selama tahun-tahun El Niño, hasil panen gandum terkena dampak negatif pada 61% kasus, sementara tahun-tahun La Niña, menunjukkan dampak positif pada hasil panen di 73% kasus. Pada tahun-tahun netral, penyimpangan hasil panen adalah positif 55%, menunjukkan bahwa bahkan tanpa pengaruh yang kuat, kondisi yang menguntungkan dapat muncul untuk produksi gandum. Selain itu, penelitian ini juga memperlihatkan trend pertumbuhan kuadratik dalam hasil panen gandum rata-rata dari tahun 1920 hingga 1997, yang sebagian besar disebabkan oleh kemajuan dalam teknologi pertanian dan praktik manajemen tanaman yang lebih baik. Penelitian ini menekankan bahwa variabilitas iklim yang terkait dengan fase ENSO secara signifikan memengaruhi produksi gandum, dengan dampak yang lebih jelas terlihat selama tahun 1960-an hingga 1980-an, ketika peristiwa ENSO lebih sering dan intens.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa El Niño Southern Oscillation (ENSO) berpengaruh signifikan terhadap hasil panen gandum di Brazil, terutama di Wilayah Selatan. El Niño berdampak negatif pada 61% kasus, sementara La Niña menunjukkan dampak positif pada 73% kasus. Pada tahun-tahun netral, hasil panen cenderung seimbang, dengan 55% kasus menunjukkan hasil positif. Studi ini juga mencatat tren pertumbuhan hasil panen gandum sejak 1920, yang didorong oleh pengenalan kultivar unggul dan kemajuan praktik pertanian, membantu mengurangi dampak variabilitas iklim terkait ENSO (Da Cunha, et al., 1999).

3. Anderson, et al. (2020) dengan judul "*MJO Teleconnections To Crop Growing Seasons*". Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak *Madden-Julian Oscillation* (MJO) terhadap variabel iklim yang sangat penting selama musim pembungaan tanaman, terutama gandum dan jagung. Selain itu, penelitian ini menjelaskan bagaimana telekoneksi MJO memengaruhi probabilitas kejadian cuaca ekstrem, termasuk curah hujan, kelembapan tanah, dan suhu yang secara signifikan dapat memengaruhi hasil panen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Madden-Julian Oscillation* (MJO) memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi pertanian di berbagai wilayah. Di Dataran Cina Utara, fase 2 MJO dikaitkan dengan peningkatan curah hujan, sementara fase 7-1 biasanya kering, memengaruhi kelembapan tanah dan suhu dengan jeda. Di Australia, MJO meningkatkan transportasi uap air dan curah hujan selama fase-fase tertentu, memengaruhi kelembapan tanah dan suhu ekstrem selama musim tanam gandum dan jagung. Di Amerika Utara dan Tengah, fase 8-2 mendukung kondisi basah, sedangkan fase 4-6 menyebabkan kondisi

yang lebih kering, terutama berdampak pada pembungaan jagung. Di Amerika Selatan, fase 8-2 berkorelasi dengan kondisi yang lebih basah dan suhu yang lebih rendah, sedangkan fase 3-7 berhubungan dengan kondisi yang lebih kering dan panas, terutama di Timur Laut Brasil.

Penelitian ini menyoroti dampak signifikan dari *Madden-Julian Oscillation* (MJO) terhadap kondisi pertanian, terutama selama musim pembungaan tanaman yang kritis. Penelitian ini mengungkapkan bahwa MJO tidak hanya memengaruhi curah hujan harian dan kelembapan tanah, tetapi juga kemungkinan terjadinya peristiwa cuaca ekstrem, seperti suhu tinggi dan curah hujan lebat, yang dapat berdampak buruk pada hasil panen. Temuan ini menunjukkan bahwa telekoneksi MJO lebih kuat untuk tanaman tropis seperti jagung dibandingkan dengan tanaman di garis lintang menengah seperti gandum, yang menunjukkan variabilitas regional dalam pengaruhnya. Lebih jauh lagi, penelitian ini menekankan potensi untuk memprediksi anomali iklim yang terkait dengan MJO dengan jangka waktu 3-4 minggu, meskipun integrasi prakiraan ini ke dalam praktik pertanian masih menjadi tantangan karena kurangnya studi spesifik sektoral (Anderson, et al., 2020).

1.3.2 Tanaman Gandum

Gandum (*Triticum aestivum* L.) adalah tanaman semusim yang dapat tumbuh pada lahan dataran tinggi dengan iklim subtropis (berkisar 10-25 °C dan curah hujan 350 – 1.250 mm). Gandum termasuk dalam famili *Gramineae* (*Poaceae*), genus *Triticum*, dan spesies *Triticum aestivum* L. (Rangkuti, 2020). Gandum merupakan bahan pangan sereal yang jumlahnya terbesar dalam penyediaan pangan pokok dunia. Kelebihan gandum dibanding sereal lainnya sebagai pangan adalah dapat diolah menjadi banyak jenis makanan yang lebih tahan disimpan dibandingkan dengan pangan dari beras (Praptana & Hermanto, 2016). Selain digunakan sebagai bahan makanan, gandum juga dapat dijadikan pakan ternak dan minuman beralkohol. Khususnya di Indonesia, gandum berperan sebagai industri makanan sebagai tepung terigu. Tepung terigu dapat diproses lebih lanjut menjadi roti, kue, *spaghetti*, *macaroni*, biskuit, *cookies*, mi instan, dan lainnya (Wicaksono, et al., 2016).

Sentral produksi gandum di dunia adalah negara Federasi Rusia, dataran bagian tengah Amerika Serikat, bagian selatan Kanada, dataran rendah wilayah Mediterania, Cina bagian utara, India bagian utara, Argentina, dan Australia (Carver, 2009). Sebanyak 17 negara masing-masing memanen gandum lebih dari 2,5 juta ha per tahun, yaitu Afganistan, Cina-Tiongkok, India, Iran, Pakistan, Turki, Prancis, Jerman, Kazakhstan, Federasi Rusia, Ukraina, Argentina, Brazil, Amerika Serikat, Kanada, Maroko, dan Australia (**Tabel 1**). Luas panen gandum dunia pada tahun 2014 mencapai 246.620 juta ha, terluas di antara tanaman biji-bijian lainnya. Negara-negara wilayah tropikal Asia yang tidak menanam gandum antara lain Indonesia, Filipina, Malaysia, Myanmar, Vietnam, dan Kamboja, yang mengindikasikan bahwa gandum memang bukan tanaman dataran rendah tropis (Praptana & Hermanto, 2016).

Tabel 1. Negara Produsen Gandum Utama di Dunia Tahun 2014 (*Praptana & Hermanto, 2016*)

Negara	Luas Panen (1.000 ha)	Produktivitas (t/ha)	Produksi per tahun (1.000 ton)
Asia			
1. Afganistan	2.654	2,02	5.361,08
2. Bangladesh	410	3,18	1.303,80
3. China-Tiongkok	25.000	5,05	126.250,00
4. India	31.118	3,30	102.689,40
5. Iran Republik	5.920	1,46	8.643,20
6. Irak	1.655	2,30	3.806,50
7. Pakistan	8.687	2,82	24.497,34
8. Syiria Republik	1.374	1,57	2.157,18
9. Turki	7.821	2,48	19.396,08
Eropa			
10. Bulgaria	1.268	4,2	5.325,60
11. Azerbaijan	604	2,33	1.407,32
12. Denmark	562	7,46	4.192,52
13. Belarus	742	3,94	2.923,48
14. Perancis	5.297	7,36	38.985,92
15. Jerman	3.220	8,63	27.788,60
16. Hungaria	1.113	4,73	5.264,49
17. Itali	1.874	3,81	7.139,94
18. Kazakhstan	11.923	1,09	12.999,07
19. Netherland	153	9,17	1.403,01
20. Federasi Rusia	23.371	2,50	58.427,50
21. Spanyol	2.122	2,98	6.153,80
22. Inggris/UK	1.936	8,59	16.630,24
23. Ukraina	6.011	4,01	24.104,11
24. Uzbekistan	1.455	4,78	6.954,90
25. Belgia	2.199	9,41	20.692,59
Benua Amerika			
26. Argentina	4.957	2,80	13.859,60
27. Brazil	2.835	2,21	6.265,35
28. Mexico	706	5,79	4.087,74
29. Amerika Serikat	18.818	2,94	55.324,92
30. Kanada	9.462	3,10	29.332,20
Afrika			
31. Algeria	1.651	1,48	2.443,48
32. Mesir	1.425	6,51	9.276,75
33. Marocco	3.204	1,71	5.478,84
34. Ethiopia	1.664	2,54	4.226,56
Australia	12.613	2,00	25.226,00
Dunia	246.620		855.000

Dari total produksi 855 juta ton gandum di dunia setiap tahun, hanya sekitar 20% yang masuk ke pasar internasional. Pasokan gandum ke pasar internasional berfluktuasi dari 100 juta ton hingga 170 juta ton. Kekeringan di negara-negara produsen utama gandum sering menjadi penyebab turunnya pasokan gandum ke

pasar internasional. Dari stok gandum di pasar tersebut, Indonesia mengimpor 7 juta ton setiap tahun, menjadikan Indonesia sebagai pengimpor gandum kelima besar di dunia. Negara pengekspor utama gandum adalah Amerika Serikat, Argentina, Australia, Kanada, dan Uni Eropa (**Tabel 2**). Amerika Serikat merupakan pengekspor gandum terbesar, sekitar sepertiga dari pangsa total ekspor gandum dunia (Praptana & Hermanto, 2016).

Tabel 2. Negara Pengekspor Gandum di Dunia Tahun 2000–2005 (Praptana & Hermanto, 2016)

Negara	Jumlah Ekspor Gandum (Juta Ton)					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Australia	15,92	16,41	9,15	18,05	14,75	16,49
Kanada	17,31	16,82	9,42	15,79	14,97	16,00
Argentina	11,27	10,07	6,75	9,42	11,84	7,00
Uni Eropa	16,79	14,24	19,95	10,94	14,37	14,51
Amerika Serikat	28,91	26,18	23,14	31,52	28,93	27,22
Negara Lain	74,33	81,34	85,49	77,84	81,93	83,10
Total	164,53	166,06	153,90	163,56	166,79	164,32

Gandum sesungguhnya bukan makanan pokok masyarakat Indonesia, namun selama beberapa tahun terakhir perannya makin penting. Peralihan pola konsumsi sebagian masyarakat yang begitu cepat ke makanan yang berasal dari gandum terutama mi instan dan roti, telah mendorong peningkatan impor gandum atau terigu, serta berkurangnya permintaan pangan yang berasal dari sumber daya dalam negeri seperti ketela dan umbi-umbian lainnya. Ketergantungan Indonesia untuk mengimpor gandum banyak dilakukan pada negara Australia, Argentina, Ukraina, Kanada, dan Amerika Serikat (Praptana & Hermanto, 2016).

Tabel 3. Impor Gandum Indonesia dari Negara Pemasok Utama (BPS, 2022)

Negara	Jumlah Impor Gandum (Ton)					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Australia	5.098,2	2.419,7	891,4	830,8	4.626,4	4.192,0
Ukraina	1.822,2	2.410,9	2.984,2	2.953,2	2.833,8	166,8
Kanada	1.686,1	1.973,7	2.439,3	2.336,6	1.919,1	1.322,4
Argentina	152,3	678,0	1.952,5	2.635,5	606,8	1.469,7
Amerika Serikat	1.150,1	904,2	1.256,2	1.277,0	447,9	392,4

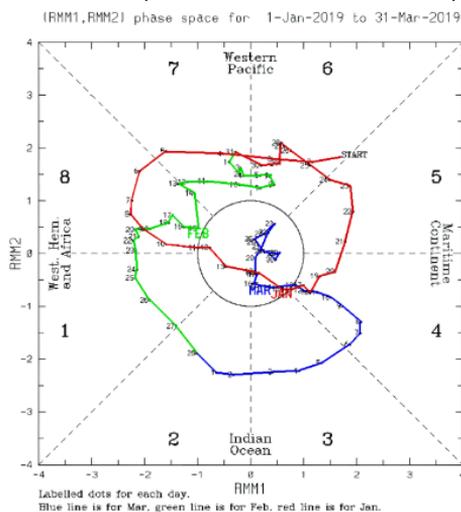
1.3.3 Madden Julian Oscillation (MJO)

Madden Julian Oscillation (MJO) adalah fenomena kejadian alami dalam sistem interaksi dinamika atmosfer dan lautan yang berosilasi dengan periode sekitar 20-90 hari, di mana periode yang paling sering terjadi adalah sekitar 45 hari (Suryantoro &

Siswanto, 2008). Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh Roland Madden dan Paul Julian ketika menganalisis anomali angin zonal di Pasifik Tropis dengan menggunakan data tekanan selama 10 tahun di Pulau Canton dan data angin di lapisan atas Singapura (Madden & Julian, 1971).

Unsur yang dapat digunakan dalam menganalisis MJO berupa angin zona lapisan bawah (850 mb) dan lapisan atas (200 mb), *Sea Surface Temperature* (SST), perawanan, hujan, dan *Outgoing Longwave Radiation* (OLR). Kemunculan MJO dicirikan dengan adanya penjarangan konvektif (pertumbuhan kumpulan gugusan awan cumulonimbus (Cb)) di atas Samudra Hindia hingga Samudra Pasifik. Penjarangan ini biasanya pertama kali terlihat di atas Samudra Hindia bagian barat, selanjutnya menjalar ke arah timur melintasi Indonesia menuju Samudra Pasifik bagian barat dan tengah. Daerah yang dilalui MJO akan mengalami peningkatan suhu muka laut yang nantinya akan berdampak pada tingginya penguapan air laut (Budiwati, et al., 2010).

Prediksi MJO berbasis pada metode *Real Time Multivariate* MJO (RMM1 dan RMM2) yang hingga kini digunakan oleh pihak Badan Meteorologi Australia (*Bureau Of Meteorology*). RMM adalah nilai *Empirical Orthogonal Function* (EOF) atau komponen utama dari integrasi kecepatan angin zonal pada ketinggian 200 hPa dan 850 hPa (data re-analisis dari NOAA) dengan OLR yang diukur dari satelit NOAA. Indeks RMM ini diperkenalkan pertama kali oleh Wheeler dan Hendon (2004) menggunakan teknik *Empirical Orthogonal Function* (EOF) untuk memisahkan periode data OLR, angin zonal 11,8 km dan angin zonal 1,5 km. Indeks ini diplot dalam diagram fase MJO yang menunjukkan kekuatan MJO dalam setiap episode kejadian. Diagram fase ini (**Gambar 1**) digunakan untuk mendefinisikan delapan fase MJO. Area yang dilewati MJO meliputi kuadran 1 dan 8 di bagian barat BMI dan Afrika, kuadran 2 dan 3 di Samudra Hindia, kuadran 4 dan 5 di Benua Australia serta kuadran 6 dan 7 di Pasifik Barat (Wheeler & Hendon, 2004).



Gambar 1. Diagram Fase MJO (<http://bom.gov.au/climate/mjo>)

Garis warna merah, hijau, dan biru merepresentasikan waktu atau bulan yang berbeda. Warna merah untuk Januari, hijau untuk Februari, dan biru untuk Maret. Titik yang berpotensi terjadi MJO ditunjukkan oleh titik yang berada di luar lingkaran. Sedangkan MJO melemah apabila berada di dalam lingkaran.

Fenomena MJO cenderung terjadi pada daerah tropis, namun tidak menutup kemungkinan fenomena ini juga memberikan pengaruh pada pola cuaca dan iklim di wilayah negara lintang tinggi seperti Argentina dan Kanada. Studi Lin et al. (2010) mengungkapkan adanya hubungan signifikan antara *Madden Julian Oscillation* (MJO) dan curah hujan musim dingin di Kanada, dengan anomali curah hujan terjadi 1-3 pentad setelah aktivitas konveksi tropis yang berkaitan dengan MJO, terutama ketika terjadi peningkatan konveksi di Samudra Hindia dan penurunan di Pasifik Barat. Pengaruh MJO tidak merata di seluruh wilayah Kanada, contohnya fase positif dari fungsi ortogonal empiris kedua (EOF2) menyebabkan peningkatan curah hujan signifikan di pantai barat Kanada, seperti British Columbia, hingga 20%-30% di atas deviasi standar. Sebaliknya, Kanada timur laut di sekitar Newfoundland dapat mengalami penurunan curah hujan pada fase yang sama.

Penelitian ini juga menggunakan metode analisis statistik seperti regresi untuk menunjukkan signifikansi hubungan antara fase MJO dan curah hujan di Kanada, dengan hasil yang menunjukkan koefisien regresi yang signifikan di banyak stasiun pengamatan. Ini menegaskan bahwa aktivitas MJO memiliki pengaruh kuat terhadap variabilitas curah hujan di wilayah tersebut. Temuan ini tentunya mengindikasikan bahwa MJO dapat dimanfaatkan dalam prakiraan curah hujan jangka panjang di Kanada, mengingat potensi prediktabilitasnya selama beberapa minggu. Namun, penelitian ini juga mencatat bahwa pengaruh MJO dapat dipengaruhi oleh pola cuaca lintang tinggi lainnya, menunjukkan perlunya pendekatan komprehensif untuk memahami dinamika curah hujan yang kompleks di Kanada (Lin, et al., 2010).

Giovannettone (2015) dalam penelitiannya juga menjelaskan dampak *Madden Julian Oscillation* (MJO) terhadap variabilitas cuaca dan iklim di Argentina, khususnya di bagian barat tengah selama periode Oktober hingga Januari. Aktivitas MJO berkorelasi kuat dengan pola curah hujan di wilayah ini, memungkinkan prediksi variabilitas curah hujan yang lebih baik. Ketika nilai MJO di atas ambang batas kritis 0.05, curah hujan cenderung berada di atas rata-rata, sementara nilai di bawah ambang batas mengindikasikan musim hujan yang lebih kering. Selain itu, MJO juga memengaruhi aktivitas badai di Samudra Atlantik, dengan MJO di atas Samudra Hindia bagian barat yang menunjukkan adanya korelasi dengan kejadian badai (Giovannettone, 2015).

1.3.4 Monsun (*Monsoon*)

Monsun merujuk pada siklus tahunan yang membedakan secara tegas keadaan atmosfer selama fase kering dan fase basah. Siklus tahunan ini membagi fase kering dan fase basah menjadi dua periode. Fase kering dipengaruhi oleh musim dingin

yang terjadi di berbagai benua dengan massa udara di atmosfer yang bersifat dingin dan kering. Sebaliknya, fase basah dipengaruhi oleh musim panas dengan udara yang bersifat lembap (Webster, et al., 1998). Daerah monsun meliputi wilayah yang dibatasi dengan lintang 35° LU – 25° LS dan 30° BB – 170° BT. Wilayah tersebut mencakup sebagian Afrika, seluruh India, sebagian Asia (Asia bagian timur dan selatan), Indonesia, Australia bagian utara (Ramage, 1971).

Sebab utama terjadinya monsun sebenarnya adalah perbedaan variasi tahunan suhu daratan luas (benua) dan lautan sekitarnya. Perbedaan suhu tersebut kemudian diikuti dengan perbedaan tekanan dengan lebih tinggi di atas daratan pada musim dingin dan sangat rendah di musim panas. Daerah yang mempunyai sistem monsun umumnya adalah kawasan tropik, antara lain Australia Utara, Afrika, Spanyol, Texas, dan pantai barat Amerika Serikat, Asia Selatan, Asia Timur. Monsun yang paling nyata adalah yang terdapat pada Asia Selatan dan Timur. Di India monsun yang terkenal adalah monsun barat daya, dan di Indonesia yang dikenal adalah monsun barat dan monsun timur meskipun tidak untuk semua daerah di Indonesia (Wirjohamidjojo & Swarinoto, 2007).

Terdapat dua monsun global yang secara utama memengaruhi kondisi monsun di wilayah Asia, yaitu Monsun Asia Musim Panas (*Asian Summer Monsoon*) dan Monsun Australia Musim Dingin (*Australian Winter Monsoon*). Pada saat musim panas di Benua Asia, terbentuklah pusat tekanan rendah di benua tersebut. Pada saat yang bersamaan, di Benua Australia terjadi musim dingin sehingga atmosfer di atas benua memiliki tekanan yang tinggi. Akibat dari adanya perbedaan dua tekanan ini, terbentuklah angin yang bergerak dari Australia menuju Asia melalui kawasan Benua Maritim Indonesia (BMI). Angin yang dingin dan kering dari Australia tersebut, akan menyebabkan musim kemarau pada daerah yang dilaluinya. Demikian pula sebaliknya, saat Benua Asia mengalami musim dingin, maka akan terbentuk angin dari Asia menuju Australia. Angin dari Benua Asia meskipun bersifat kering dan dingin, namun telah menempuh perjalanan panjang melalui Samudra Pasifik yang amat luas sehingga angin tersebut menjadi lembap dan mengandung banyak uap air. Akibatnya, daerah yang dilaluinya pun akan mengalami musim hujan (Yulihastin, 2010).

Indeks *monsoon* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *East Asian Summer Monsoon Index* (EASMI). EASMI ini merupakan fenomena iklim yang signifikan memengaruhi pola-pola cuaca di seluruh Asia Timur, terutama selama bulan-bulan musim panas. Fenomena ini ditandai dengan pergeseran pola angin musiman, yang membawa udara hangat dan lembap dari lautan ke daratan, yang mengakibatkan peningkatan curah hujan. EASMI berkaitan erat dengan berbagai sistem sirkulasi atmosfer, termasuk tekanan tinggi subtropis Pasifik Barat dan antisiklon di Pasifik Barat Laut, yang berperan penting dalam menentukan distribusi dan intensitas curah hujan di seluruh wilayah yang dilaluinya (Zhao, et al., 2015). Peneliti mengusulkan EASMI berdasarkan angin zonal 850 hPa yang didefinisikan sebagai berikut (Ping & Cun, 2005):

$$EASM\ Index = U_{850}(10N - 40N, 110E - 140E) \quad (1)$$

dengan:

- U_{850} : Kecepatan Angin Zonal Level Tekanan 850 hPa
 $10N - 40N$: Koordinat Geografis Pengukuran Angin Zonal
 $110E - 140E$: Koordinat Geografis Pengukuran Angin Zonal

Terdapat penelitian yang menunjukkan bagaimana EASMI ini tidak hanya memengaruhi variabilitas iklim di Asia Timur, tetapi juga sampai pada negara lintang tinggi di Benua Amerika Utara seperti Kanada, British Columbia, dan Alberta. Studi oleh Qian et al. (2022) telah menetapkan adanya telekoneksi antara EASMI dan kejadian cuaca ekstrem di Amerika Utara selama musim panas. Telekoneksi ini menunjukkan bahwa variasi dalam EASMI dapat secara signifikan memodulasi kondisi atmosfer di seluruh Pasifik, yang menyebabkan perubahan pola cuaca di *Western North America* (WNA). EASMI ini erat kaitannya dengan kejadian gelombang panas yang melanda WNA dari akhir Juni hingga awal Juli 2021. Peristiwa ini belum pernah terjadi sebelumnya, dengan suhu mencapai tingkat ekstrem, seperti 49,6 °C. Gelombang panas ini mengakibatkan lebih dari 700 kematian dan banyak kebakaran hutan. Peneliti mengusulkan mekanisme pembentukan kubah panas di atas WNA, yang terkait dengan EASMI. Interaksi antara EASMI dan anomali suhu udara permukaan di Amerika Utara diselidiki dengan eksperimen sensitivitas dengan menggunakan *Atmospheric General Circulation Model* (AGCM) yang bertujuan untuk memverifikasi bagaimana EASMI memengaruhi anomali suhu di WNA. Peneliti mengisolasi efek pemanasan yang disebabkan oleh sabuk hujan monsun dan efek pendinginan dari Laut Filipina. Hasilnya menunjukkan bahwa anomali pemanasan dan pendinginan secara signifikan memengaruhi perubahan suhu di WNA (Qian, et al., 2022).

1.3.5 *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO)

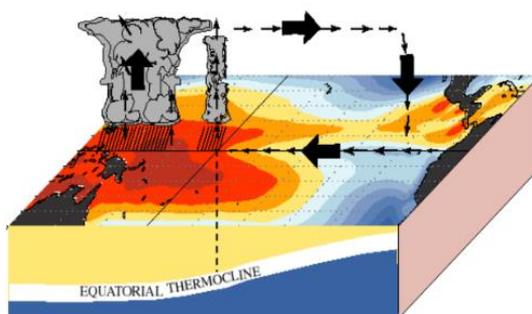
El-Niño Southern Oscillation (ENSO) merupakan salah satu fenomena global yang terjadi di Samudra Pasifik yang disebabkan oleh gabungan interaksi atmosfer–laut yang menyebabkan terjadinya variasi iklim tahunan di dunia. Terdapat dua komponen dari interaksi laut dan atmosfer, yaitu *El-Niño* dan *Southern Oscillation* (Osilasi Selatan). *El-Niño* mencerminkan proses anomali temperatur permukaan laut di Pasifik Tropis, sedangkan *southern oscillation* mencerminkan pola jungkat-jungkit tekanan udara di Pasifik dan Hindia. Fenomena ini terjadi di pantai Barat Ekuator dan Peru, di mana suhu permukaan lautnya lebih tinggi daripada rata-rata normalnya (Trenberth, 1997).

ENSO biasanya berlangsung sekitar 9–12 bulan. Fenomena ini sering mulai terbentuk pada bulan Juni – Agustus, mencapai puncak pada bulan Desember– April. Rata-rata ENSO terjadi setiap 3–5 tahun. Namun, periodisitas *el-niño* dan *la-niña* sangat tidak teratur, beberapa fenomena berkepanjangan telah berlangsung 2–7 tahun (Climate Prediction Center, 2015). Dampak dari ENSO terhadap cuaca global adalah (Bramawanto & Abida, 2017):

- a. Angin pasat timur melemah. Angin pasat adalah angin yang bertiup di dua daerah bertekanan maksimum subtropika utara dan selatan secara terus-menerus menuju ke arah ekuator.
- b. Sirkulasi muson melemah. Angin muson atau angin musim adalah angin yang bertiup setengah tahun sekali berganti arah berlawanan.
- c. Kekeringan di beberapa wilayah seperti Australia, Amerika Tengah, Indonesia bagian selatan, dan beberapa wilayah lainnya.
- d. Potensi hujan di sepanjang Pasifik ekuatorial tengah dan barat serta wilayah Argentina cuacanya menjadi cenderung hangat dan lembap.

1.3.5.1 Kondisi Normal

Dalam keadaan normal, tekanan atmosfer di Pasifik timur lebih tinggi dari Pasifik barat sehingga memengaruhi adanya angin pasat. Angin pasat berhembus dari timur menuju barat mendorong permukaan air di Pasifik menuju Australia dan Filipina membentuk massa air hangat di sebelah barat Pasifik (Indonesia) dengan suhu dan elevasi permukaan air yang tinggi. Saat angin melewati lautan, angin tersebut membawa udara lembap dan menyebabkan hujan di atas lautan yang hangat. Sementara itu, di cekungan timur (Pesisir Peru), air yang bersuhu rendah dan banyak mengandung nutrien menuju ke permukaan. Air yang lebih hangat memiliki massa jenis yang lebih kecil dari air yang dingin dan menambah volume air lebih banyak. Permukaan air di Asia lebih tinggi daripada di sepanjang pesisir Amerika Selatan dan termoklin (lapisan batas antara permukaan air hangat dan air dingin) akan miring ke timur (AVISO, 2008), seperti pada **Gambar 2** di bawah ini (Climate Prediction Center, 2015):

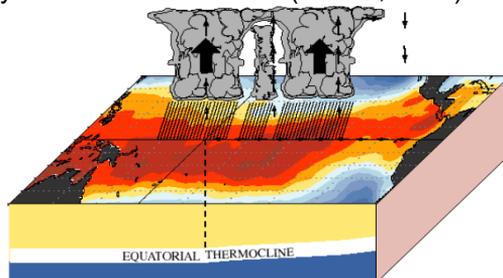


Gambar 2. Kondisi Normal Samudra Pasifik (*Climate Prediction Center, 2015*)

1.3.5.2 El-Niño

Fenomena *el-niño* terjadi akibat adanya penyimpangan kondisi interaksi antara lautan dan atmosfer di sepanjang Samudra Pasifik ekuator dari keadaan normalnya. Selama peristiwa *el-niño*, tekanan atmosfer di Pasifik barat lebih tinggi dari Pasifik timur sehingga angin pasat timur (angin di daerah tropis yang berhembus secara konsisten dari timur ke barat) yang melintasi ekuator Samudra Pasifik melemah. Hal ini akan memperlambat arus samudra yang menarik permukaan air dari pantai barat Amerika Selatan dan mengurangi *upwelling* (arus naik permukaan yang membawa banyak nutrien dari dasar) air laut yang bersuhu rendah, sehingga meratakan

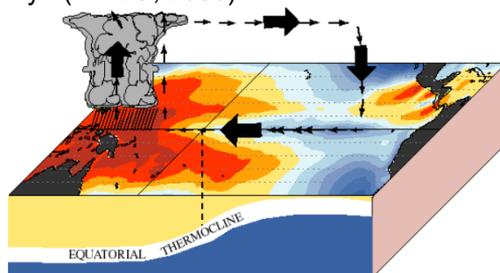
termoklin dan menyebabkan massa air hangat mengalir ke sebelah timur (Pesisir Cili dan Peru), yang dapat dilihat pada **Gambar 3**. Karena suhu permukaan air yang meningkat dan kelembapan pada atmosfer di atasnya, hal ini kan mendorong pembentukan awan yang meningkatkan curah hujan di kawasan tersebut. Bagian barat Samudra Pasifik tekanan udaranya meningkat sehingga menyebabkan terhambatnya pembentukan awan di lautan bagian timur Indonesia, sehingga curah hujan beberapa wilayah Indonesia menurun (AVISO, 2008).



Gambar 3. Kondisi *El-Niño* Samudra Pasifik (*Climate Prediction Center, 2015*)

1.3.5.3 *La-Niña*

Berbeda dengan *el-niño*, *la-niña* merupakan anomali kondisi cuaca di mana terjadi penurunan suhu permukaan laut di wilayah perairan ekuator Pasifik Timur dan peningkatan suhu permukaan laut di ekuator Pasifik Barat. Saat terjadi *la-niña*, angin pasat timur yang bertiup di sepanjang Samudra Pasifik menguat, sehingga massa air hangat yang terbawa makin banyak ke arah Pasifik Barat. Akibatnya massa air dingin di Pasifik Timur bergerak ke atas dan menggantikan massa air hangat yang berpindah (*upwelling*) seperti pada **Gambar 4**. Pergantian massa air menyebabkan suhu permukaan laut mengalami penurunan di Pasifik Timur dan kenaikan di Pasifik barat dari nilai normalnya (AVISO, 2008).



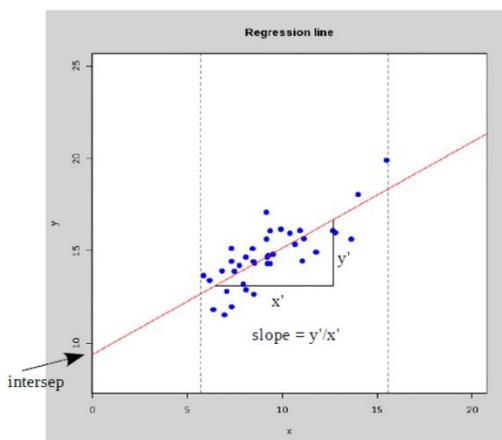
Gambar 4. Kondisi *La-Niña* Samudra Pasifik (*Climate Prediction Center, 2015*)

1.3.6 Metode Regresi Linear Sederhana

Regresi Linear Sederhana adalah sebuah analisis regresi yang melibatkan hubungan antara satu variabel terikat dihubungkan dengan satu variabel bebas. Regresi linear juga merupakan metode statistik yang berfungsi menguji sejauh mana hubungan sebab-akibat antara variabel faktor penyebab terhadap variabel akibatnya. Faktor penyebab pada umumnya dilambangkan dengan X sedangkan variabel akibat dilambangkan dengan Y . Regresi linear sederhana banyak dipergunakan dalam produksi untuk melakukan peramalan ataupun prediksi tentang karakteristik

kualitas maupun kuantitas (Ginting, et al., 2019). Dalam analisis regresi linear sederhana, hubungan antar variabel bersifat linear, di mana perubahan pada variabel X akan diikuti oleh perubahan variabel Y secara tetap. Sementara pada hubungan non-linear, perubahan variabel X tidak diikuti variabel Y secara proporsional (Muhartini, et al., 2021). Koefisien regresi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu (Putra & Juarna, 2021):

1. *Intersep (intercept)*. Definisi secara matematis adalah suatu titik perpotongan antara suatu garis dengan sumbu Y pada diagram/sumbu kartesius saat nilai $X = 0$. Sedangkan definisi secara statistika adalah nilai rata-rata pada variabel Y apabila nilai pada variabel X bernilai 0. Dengan kata lain, apabila X tidak memberikan kontribusi, maka secara rata-rata variabel Y akan bernilai sebesar intersep. Perlu diingat, intersep hanyalah suatu konstanta yang memungkinkan munculnya koefisien lain di dalam model regresi. Intersep tidak selalu dapat atau perlu untuk diinterpretasikan. Apabila data pengamatan pada variabel X tidak mencakup nilai 0 atau mendekati 0, maka intersep tidak memiliki makna yang berarti, sehingga tidak perlu diinterpretasikan.
2. *Slope*. Secara matematis, *slope* merupakan ukuran kemiringan dari suatu garis. *Slope* adalah koefisien regresi untuk variabel X (variabel bebas). Dalam konsep statistika, *slope* merupakan suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar kontribusi (sumbangan) yang diberikan suatu variabel X terhadap variabel Y . Nilai *slope* dapat pula diartikan sebagai rata-rata pertambahan (atau pengurangan) yang terjadi pada variabel Y untuk setiap peningkatan satu satuan variabel X .



Gambar 5. Intersep dan Slop pada Regresi Linear (Putra & Juarna, 2021)

Secara umum bentuk persamaan regresi di mana Y merupakan nilai yang diprediksi adalah sebagai berikut (Putra & Juarna, 2021):

$$Y = a + b(X) \quad (2)$$

dengan:

a : Konstanta (*Intercept*)

b : Koefisien Regresi (*Slope*)

Y : Variabel Terikat

X : Variabel Bebas

Untuk mencari nilai a dan b dapat menggunakan metode kuadrat terkecil (*last square*) dengan meminimalkan jumlah kuadrat residual (RSS) sehingga menghasilkan persamaan:

$$a = \frac{(\sum X_i^2)(\sum Y_i) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (4)$$

Dengan X adalah nilai variabel bebas ke i , Y adalah nilai variabel terikat ke i , dan n adalah jumlah data (Putra & Juarna, 2021).

1.3.7 Metode Regresi Polinomial

Regresi Polinomial adalah jenis regresi khusus yang bekerja pada hubungan lengkung (*curvilinear*) antara nilai dependen dan nilai independen. Regresi polinomial merupakan model regresi linear yang dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh masing-masing variabel prediktor (X) yang dipangkatkan meningkat sampai orde ke- n . Secara umum, model regresi polinomial ditulis dalam persamaan (Putra & Juarna, 2021):

$$Y = a + b_1 x + b_2 x^2 + \dots + b_n x^n \quad (5)$$

dengan:

Y : Variabel Terikat

x, x^2, \dots, x^n : Variabel Bebas (Prediktor)

a : Konstanta (*Intercept*)

b_1, b_2, \dots, b_n : Koefisien Regresi (*Slope*)

n : Orde atau Derajat Polinomial

1.3.8 Percent Correct (PC)

Percent Correct adalah metode verifikasi yang digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil prediksi suatu model cocok dengan data observasi. PC ini nantinya akan menghitung kejadian “ya” pada pemodelan sesuai dengan data observasi, artinya data prediktor pemodelan sesuai dengan data observasi. Nilai PC berkisar antara 0 hingga 1, dan 1 adalah nilai yang akurat. Misalnya, nilai PC adalah 0,85 berarti sekitar 85% kejadian pada data pemodelan sesuai dengan data observasi. *Skill* skor PC disebut juga sebagai *skill* skor *Accuracy* (ACC). ACC ini akan mengukur keseluruhan model dan sering digunakan dalam berbagai bidang, termasuk statistik, *machine learning*, dan evaluasi model. Adapun persamaan untuk *skill* skor tersebut adalah sebagai berikut (Pratama, et al., 2023):

$$PC = \frac{\text{hits} + \text{correct negative}}{\text{total}} \times 100 \quad (6)$$

dengan:

hits : Jumlah prediksi benar positif (kejadian “ya” yang diprediksi

	benar)
<i>correct negative</i>	: Jumlah prediksi benar negatif (kejadian “tidak” yang diprediksi benar)
<i>total</i>	: Total jumlah data yang dievaluasi

1.3.9 Kategorisasi Prediktor

Proses kategorisasi prediktor didasarkan pada studi literatur yang relevan terkait dengan fenomena masing-masing prediktor. Berdasarkan informasi dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), fase hangat dan dingin didefinisikan dengan *La-Niña* ($< -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), Netral ($-0,5\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{ENSO} \leq 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), dan *El-Niño* ($> 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Untuk prediktor lain seperti *monsoon* dan MJO, tidak tersedia dasar klasifikasi yang baku atau acuan indeks yang umum digunakan. Namun, penulis menemukan beberapa referensi literatur yang menyebutkan adanya fase-fase dalam *monsoon* dan MJO, seperti fase kuat, netral/aktif, dan lemah. Meskipun demikian, literatur-literatur tersebut tidak menyediakan ambang batas nilai yang jelas untuk masing-masing fase, sehingga tidak ada panduan khusus untuk menentukan batasan-batasannya. Sebagai contoh, penelitian oleh Barrett et al. (2021) menyatakan bahwasanya MJO cenderung **aktif** menuju **kuat** terjadi ketika osilasi melewati fase 3 (Samudra Hindia bagian Timur) ke fase 4 (Benua Maritim Indonesia) dengan penjararan yang berlawanan arah jarum jam, dan kemudian keluar dari fase 5 (Benua Maritim Indonesia) tanpa kehilangan kekuatan. Peristiwa MJO aktif jika amplitudonya tetap tinggi saat melewati *Maritime Continent* (MC). Sebaliknya, MJO **melemah** ketika osilasi memasuki fase 4 dengan amplitudo yang kuat tetapi keluar dari fase 5 dengan amplitudo yang menurun, menandakan hilangnya kekuatan selama penjararannya di sekitar MC (Barrett, et al., 2021).

Sementara itu, penelitian lain dari Zhou & Wu (2019) mengkategorikan pengaruh monsun musim panas Asia Timur terhadap curah hujan badai topan menjadi dua fase utama, yaitu kondisi **monsun kuat** dan **monsun lemah**. Dalam kondisi monsun kuat, intensitas curah hujan topan meningkat secara signifikan karena pengangkatan vertikal (*upward lifting*) yang diperkuat melalui kombinasi konvergensi (pertemuan aliran udara di lapisan bawah dan divergensi (penyebaran aliran udara) di lapisan atas. Struktur dinamis ini mendukung perkembangan sistem konvektif skala *mesoscale* (pergerakan atmosfer berukuran menengah) serta mempertahankan struktur inti topan yang hangat, sehingga memperpanjang durasi curah hujan dan menunda peluruhan badai saat mencapai daratan. Sebaliknya, kondisi monsun lemah menghasilkan intensitas curah hujan yang lebih rendah karena kurang efektifnya penggabungan konvergensi dan divergensi, sehingga menurunkan gerakan vertikal dan menyebabkan distribusi curah hujan yang kurang teratur (Zhou & Wu, 2019)

Berdasarkan tinjauan literatur yang tersedia, pengkategorian fase prediktor *monsoon* dan MJO dilakukan dengan menetapkan tiga kategori utama, yaitu lemah,

aktif, dan kuat. Mengingat tidak tersedianya batasan nilai yang baku dalam literatur untuk kedua prediktor tersebut, pendekatan *data binning* ditetapkan sebagai metode kategorisasi.

Data Binning (juga dikenal *bucketing* atau *discretization*) merupakan metode penghalusan data dan pra-pemrosesan untuk mengelompokkan data kontinu asli ke dalam bin, interval, atau kategori kecil yang terpisah-pisah. *Data Binning* biasanya digunakan untuk mengelola kumpulan data besar atau mengubah data kontinu menjadi data kategorikal untuk dianalisis atau divisualisasi. Jumlah dan ukuran bin bergantung pada teknik diskritisasi yang digunakan. Dalam penelitian ini, teknik diskritisasi yang digunakan adalah *Quantile Binning*. Teknik ini berlaku untuk distribusi data yang sama dengan membagi data ke dalam beberapa kategori berdasarkan persentil. Dengan demikian, jumlah bin telah ditentukan sebelumnya, dan setiap bin terdiri dari jumlah titik yang sama. Langkah-langkah umum yang diterapkan untuk melakukan diskritisasi adalah sebagai berikut (Brouwer, 2020):

1. Identifikasi nilai maksimum dan nilai minimum dari dataset untuk menentukan rentang di mana data akan di-*binning*.
2. Memilih metode binning yang sesuai berdasarkan karakteristik data yang bersangkutan dan tujuan melakukan analisis. Metode *binning* yang umum termasuk *binning* dengan lebar yang sama, *binning* dengan frekuensi yang sama, dan *binning* khusus.
3. Memutuskan jumlah bin berdasarkan tingkat perincian yang diperlukan, ukuran kumpulan data yang diperlukan, atau persyaratan analisis spesifik yang ditentukan untuk tugas tersebut.
4. Menyortir titik data ke dalam bin yang sesuai berdasarkan nilainya dan batas bin yang ditentukan. Bergantung pada metode *binning* yang dipilih, titik data yang berada pada batas-batas tersebut dapat diterapkan ke dalam satu bin atau dibagi di antara bin-bin yang berdekatan.

Berdasarkan pendekatan ini, data dibagi secara merata ke dalam tiga kategori berdasarkan persentil, yaitu 33,33% dan 66,67%. Fase lemah didefinisikan sebagai data yang berada di kuantil pertama (hingga persentil 33,33%), fase aktif pada kuantil menengah (persentil 33,33% hingga 66,67%), dan fase kuat mencakup nilai pada kuantil tertinggi (persentil di atas 66,67%). Adapun rumus yang digunakan untuk menetapkan kategori tersebut berdasarkan persentil pada *Software MATLAB R2017a* adalah sebagai berikut:

$$P33 = \text{prctile}(\text{data}(:, 33)) \text{ atau } P66 = \text{prctile}(\text{data}(:, 66)) \quad (7)$$

dengan:

$P33$ & $P66$: persentil data ke-33 dan ke-66

prctile : fungsi persentil

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan (7) di atas, maka diperoleh kategorisasi dan batasan nilai untuk prediktor *monsoon* dan *MJO* yang dapat dilihat pada **Tabel 4** di bawah ini:

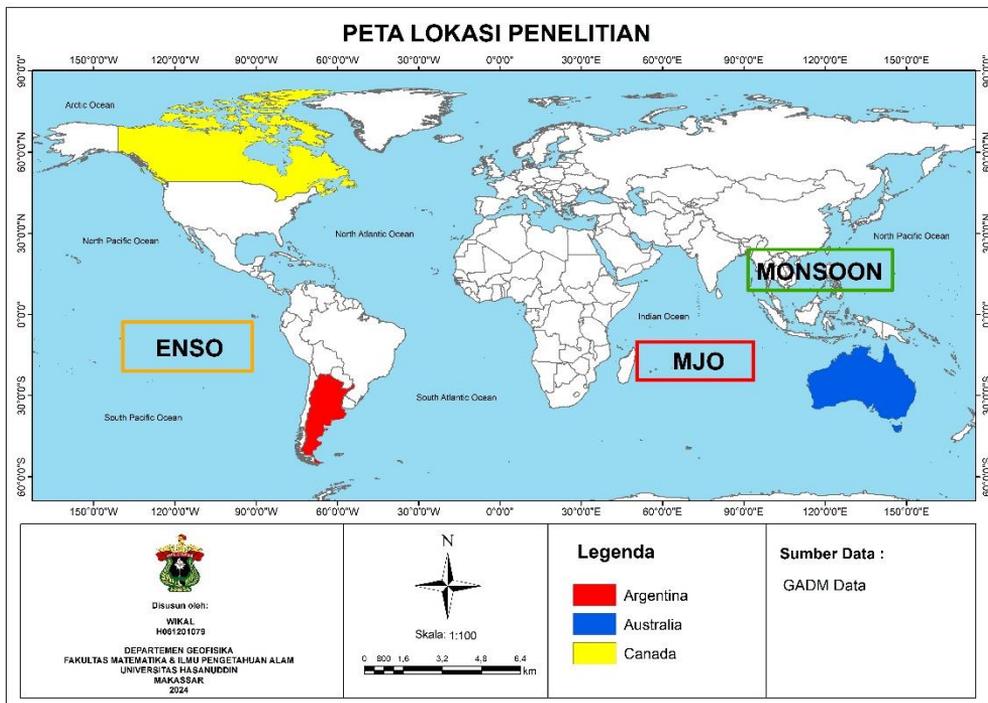
Tabel 4. Kategorisasi dan Batasan Nilai Prediktor

Prediktor	Kategori/Fase Prediktor		
	Lemah/La-Niña	Netral/Aktif	Kuat/El-Niño
MJO	$< -0,14$	$-0,14 \leq MJO \leq 0,05$	$> 0,05$
Monsoon	$< -0,82$	$-0,82 \leq Monsoon \leq 0,28$	$> 0,28$
ENSO	$< -0,5$	$-0,5 \leq ENSO \leq 0,5$	$> 0,5$

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 3 negara pemasok gandum terbesar ke Indonesia. Negara-negara tersebut meliputi Australia, Argentina, dan Kanada. Melansir dari Data BPS (2022), Australia menjadi pemasok terbesar gandum ke Indonesia dengan porsi mencapai 37,4% atau 2,06 juta ton pada periode Januari – Juli 2022, Argentina di tempat kedua dengan memasok 26,7% atau 1,47 juta ton pada Januari – Juli 2022, kemudian Kanada di posisi ketiga dengan memasok sebesar 6,5% atau 631 ribu ton pada Januari – Juli 2022.



Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

- Perangkat keras terdiri dari:**
 - 1 buah laptop
 - 1 buah *printer*
- Perangkat lunak terdiri dari:**
 - Software* MATLAB R2017b
 - Software* Microsoft Excel 2019
 - Software* Notepad
 - Software* ArcGis 10.8

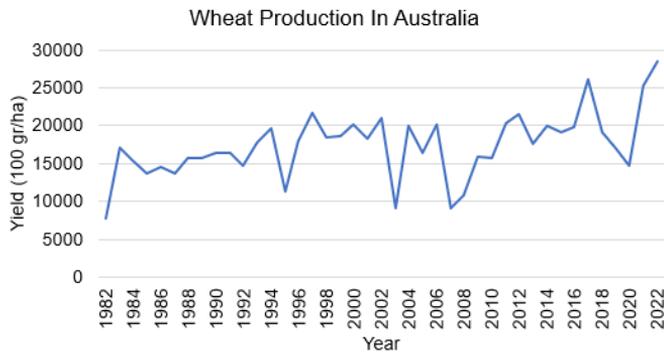
2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

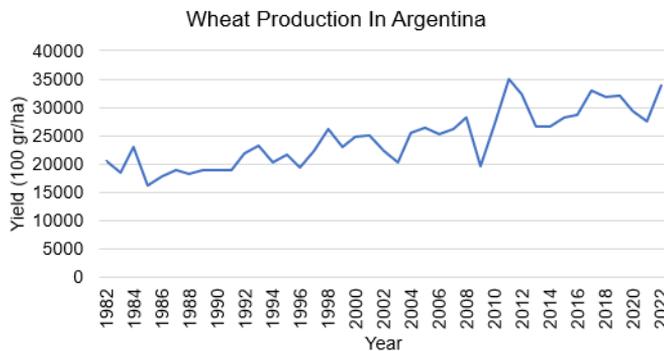
1. Data Produksi Gandum

Data produksi gandum yang digunakan merupakan data produksi gandum di negara Australia, Argentina, dan Kanada pada rentang waktu 1982–2022 yang tersedia pada situs web FAOSTAT. Plot *time series* dari ketiganya dapat dilihat pada **Gambar 7**, **Gambar 8**, dan **Gambar 9**.

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



Gambar 7. Produksi Gandum di Australia



Gambar 8. Produksi Gandum di Argentina

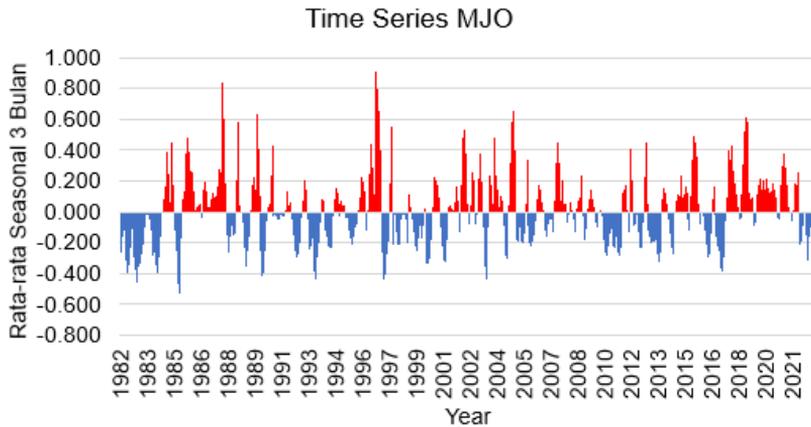


Gambar 9. Produksi Gandum di Kanada

2. Data Indeks *Madden Julian Oscillation* (MJO)

Data indeks MJO yang digunakan merupakan data sekunder indeks RMM yang tersedia pada situs web *Bureau of Meteorology* (BoM) Australia pada rentang waktu 1982–2022. Plot *time series* dari MJO dapat dilihat pada **Gambar 10**.

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

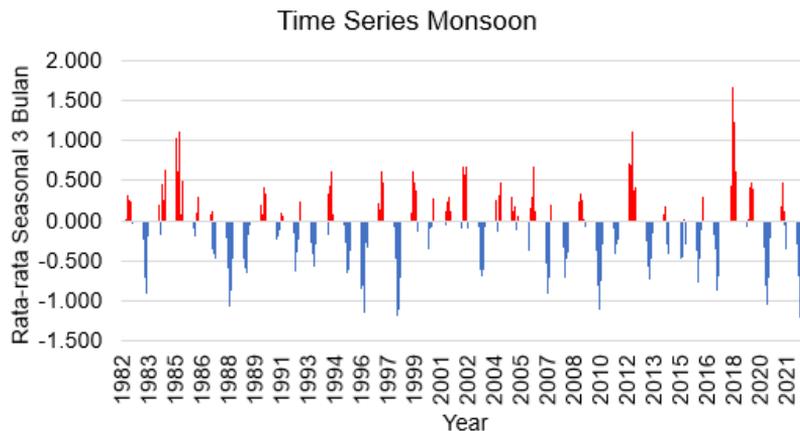


Gambar 10. *Time Series MJO*

3. Data Indeks *Monsoon*

Data indeks *monsoon* yang digunakan merupakan data sekunder *East Asian Summer Monsoon Indeks* (EASMI) yang tersedia pada situs web *East Asian Climate* pada rentang waktu 1982–2022. Plot *time series* dari *monsoon* dapat dilihat pada **Gambar 11**.

Sumber: <http://lijianping.cn/dct/page/65577>

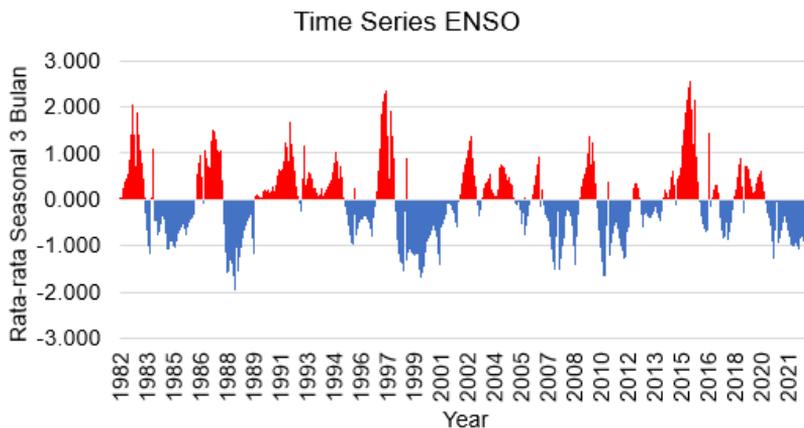


Gambar 11. *Time Series Monsoon*

4. Data *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO)

Data ENSO yang digunakan merupakan data sekunder yang tersedia pada situs web NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) pada rentang waktu 1982–2022. Plot *time series* dari ENSO dapat dilihat pada **Gambar 12**.

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



Gambar 12. *Time Series ENSO*

2.3 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini dikumpulkan dari data sekunder yang terdapat pada situs web tertentu sesuai dengan kebutuhannya. Data-data sekunder pada penelitian ini diunduh melalui situs web FAOSTAT, *Bureau of Meteorology* (BoM), *East Asian Climate*, dan situs NOAA. Keseluruhan data yang diperlukan masing-masing terdapat dalam kurun waktu 41 tahun, dari tahun 1982–2022.

2.4 Pengolahan Data

Adapun tahapan pengolahan data dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan *pre-processing* data, yakni mempersiapkan dan menyusun data variabel sebelum diolah atau dianalisis lebih lanjut. Data tersebut mencakup data produksi gandum, data indeks MJO, *Monsoon*, dan ENSO. Data kemudian dimuat ke dalam *microsoft excel* dengan menyamakan setiap dimensinya, artinya memastikan bahwa semua dataset yang akan diolah memiliki jumlah kolom dan baris yang sesuai satu sama lain. Selain itu, data prediktor diagregasi menjadi data musiman triwulanan (misal, JFM, FMA, dan seterusnya). Untuk mengagregasi data tersebut, maka dilakukan perhitungan rata-rata 3 bulanan dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$\overline{X_{3-bulanan}} = \frac{X_t + X_{t+1} + X_{t+2}}{3} \quad (8)$$

dimana:

$X_{3-bulanan}$: Rata-rata Tiga Bulanan Prediktor

X_t : Nilai Indeks Prediktor bulan pertama dalam Triwulan (misalnya, Januari untuk triwulan JFM)

X_{t+1} : Nilai Indeks Prediktor bulan kedua dalam Triwulan (misalnya, Februari untuk triwulan JFM)

X_{t+2} : Nilai Indeks Prediktor bulan ketiga dalam Triwulan (misalnya,

Maret untuk triwulan JFM)

JFM : Triwulan untuk Januari, Februari, dan Maret

FMA : Triwulan untuk Februari, Maret, dan April

Data dibuat dalam 13 kolom; kolom 1 data produksi, kolom 2–13 data indeks MJO/*Monsoon*/ENSO. Data kemudian dikonversi ke format teks (.txt) agar kompatibel dengan *script* MATLAB yang digunakan. Kedua hal ini dapat dilihat pada **Gambar 13** dan **Gambar 14** di bawah ini.

PROD	SEASON (3 BULAN)											
	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	DJF
21336	-0.347	-0.295	-0.145	-0.058	-0.167	-0.353	-0.426	-0.402	-0.198	-0.112	-0.038	-0.743
19345	-0.334	-0.355	-0.370	-0.278	-0.333	-0.225	-0.079	0.006	0.031	-0.098	-0.081	-0.178
16099	-0.178	-0.248	-0.372	-0.430	-0.399	-0.065	-0.023	0.049	0.219	0.226	0.309	0.621

Gambar 13. Format Data Produksi Gandum dan Data Seasonal 3 Bulan Prediktor Pada *Microsoft Excel*

21336	-0.347	-0.295	-0.145	-0.058	-0.167	-0.353	-0.426	-0.402	-0.198	-0.112	-0.038	-0.743
19345	-0.334	-0.355	-0.370	-0.278	-0.333	-0.225	-0.079	0.006	0.031	-0.098	-0.081	-0.178
16099	-0.178	-0.248	-0.372	-0.430	-0.399	-0.065	-0.023	0.049	0.219	0.226	0.309	0.621

Gambar 14. Format Data Produksi Gandum dan Data Seasonal 3 Bulan Prediktor Pada *Notepad*

- Melakukan proses kuantil data, yaitu menentukan batasan nilai dari setiap kategori prediktor dengan menggunakan persentil data sebagai acuan kategorisasi. Data yang telah diseasonalkan 3 bulan dikuantilkan dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 7**. Persamaan tersebut memberikan batas-batas nilai berdasarkan distribusi data prediktor. Hasil pembagian kategori dari masing-masing prediktor beserta batasan nilai yang sesuai untuk setiap kategori dapat dilihat pada **Tabel 4**.
- Memodelkan data menggunakan regresi linier sederhana dan metode regresi polinomial. Regresi linier sederhana digunakan untuk memahami hubungan antara prediktor dan anomali produksi gandum. Regresi linier sederhana dapat dinyatakan dalam bentuk rumus pada **Persamaan 2**. *Script* untuk melakukan regresi linier sederhana pada *MATLAB R2017a* adalah sebagai berikut:

```

opoll = 1; %orde 1 untuk regresi linier sederhana
[p1,s1] = polyfit(mjo,apro,opoll); %fitting polinomial
gradien=p1(1,1) %gradien hasil regresi
kons=p1(1,2) %konstanta hasil regresi

```

Gambar 15. *Script* Perhitungan Regresi Linier Sederhana Pada *Matlab 2017b*

Hasil *fitting* dari *script* tersebut memberikan nilai gradien ($p1(1)$) dan konstanta ($p2(2)$), yang membentuk persamaan regresi linier antara prediktor dan anomali produksi gandum. Adapun rumus regresi linier yang dihasilkan dari *fitting* adalah sebagai berikut:

$$ANOMSTD = a(X) + b \quad (8)$$

dengan:

$ANOMSTD$: Anomali Standardisasi

a : Gradien/Koefisien Regresi/*Slope*

X : Prediktor (MJO/Monsoon/ENSO)
 b : Konstanta/Intercept

Untuk regresi polinomial digunakan untuk mendapatkan gambaran tren jangka panjang dalam produksi gandum, menyesuaikan data sehingga lebih mudah untuk memahami fluktuasi atau perubahan yang terjadi selama bertahun-tahun. Regresi ini membantu memisahkan tren umum dari data agar dapat diketahui bagaimana produksi gandum bergerak naik atau turun dalam jangka panjang, terlepas dari variasi musiman atau perubahan yang mungkin terjadi setiap tahun. Regresi ini dinyatakan dalam bentuk rumus pada **Persamaan 5**. *Script* untuk melakukan regresi polinomial pada *MATLAB R2017a* adalah sebagai berikut:

```
opol = 3;
[p,s] = polyfit(year,wheat,opol);%fitting polinomial
f_y = polyval(p,year,s);%nilai prediksi dari fitting
dt_prod = prod - f_y;%anomali produksi (deviasi dari tren)
```

Gambar 16. *Script* Perhitungan Regresi Polinomial Pada *MATLAB R2017a*

Hasil dari *fitting* ini digunakan untuk menentukan nilai *dt_prod*, yaitu anomali produksi gandum terhadap tren polinomial, yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk melihat fluktuasi terhadap prediktor lainnya.

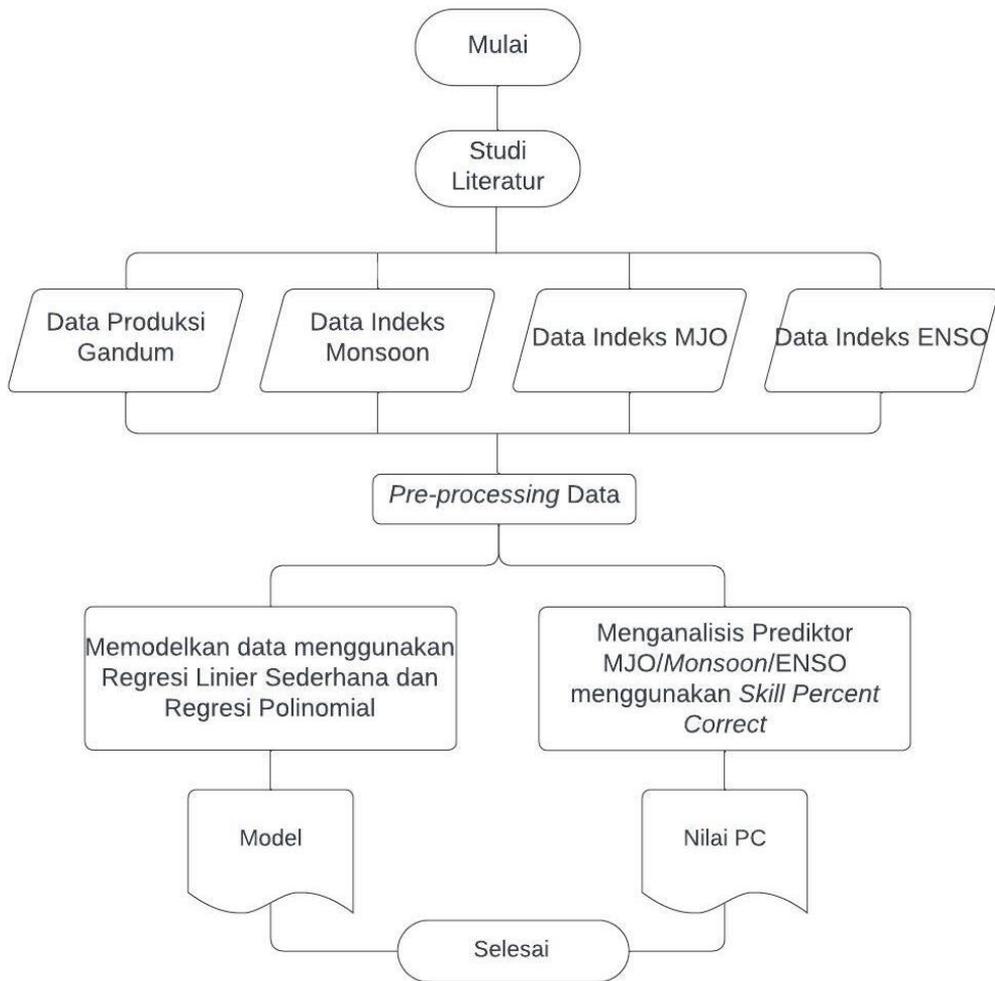
4. Mengukur keakuratan model prediksi dengan *skill Percent Correct* (PC) dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 6**. Persentase ini dihitung untuk mengevaluasi seberapa baik model regresi polinomial dalam mengklasifikasikan data anomali produksi gandum berdasarkan kategori yang ditentukan. Nilai PC dihitung dengan membandingkan jumlah kejadian yang dikategorikan benar, yaitu yang sesuai dengan kategori yang diharapkan terhadap total kejadian. Semakin tinggi nilai PC, semakin akurat model dalam memprediksi dan mengklasifikasikan data berdasarkan anomali yang terjadi. *Script* untuk melakukan perhitungan PC pada *MATLAB R2017a* adalah sebagai berikut:

```
Total=A1+B1+C1+D1+E1+F1+G1+H1+I1
Percent_Correct=100*(G1+E1+C1)/Total
```

Gambar 17. *Script* Perhitungan *Percent Correct* Pada *MATLAB 2017a*

5. Menganalisis hasil nilai *Percent Correct* (PC) untuk menggambarkan hubungan antara anomali produksi gandum dan prediktor.

2.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 18. Bagan Alir Penelitian