

Skripsi Geofisika

**ANALISIS PENGARUH DINAMIKA ATMOSFER TERHADAP
KEJADIAN TITIK API (*HOTSPOT*) PADA KAWASAN
SAWAH DI MAROS DAN PANGKAJENE KEPULAUAN**



DISUSUN OLEH :

KOMANG YUDA PUTRA BENDESA

H061 18 1316

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**Analisis Pengaruh Dinamika Atmosfer Terhadap Kejadian Titik Api (Hotspot) Pada
Kawasan Sawah Di Maros Dan Pangkajene Kepulauan**

Disusun dan diajukan oleh:

KOMANG YUDA PUTRA BENDESA

H061181316

Telah di pertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin

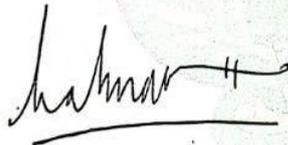
Pada tanggal 17 November 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc
NIP. 1963033151987101001

Dr. Erfan, M.Si
NIP. 196709032001121001

Ketua Departemen



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Komang Yuda Putra Bendesa
NIM : H061181316
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul:

“Analisis Pengaruh Dinamika Atmosfer Terhadap Kejadian Titik Api (Hotspot) Pada Kawasan Sawah Di Maros Dan Pangkajene Kepulauan”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain.

Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 17 November 2022

Yang menyatakan



Komang Yuda Putra Bendesa

SARI BACAAN

Hotspot merupakan salah satu indikator yang dapat digunakan sebagai deteksi awal bencana Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla). *Hotspot* dapat mengindikasikan kemungkinan adanya kebakaran apabila semakin banyak *hotspot* yang muncul dan berdekatan di suatu wilayah. Kekeringan yang disebabkan oleh faktor meteorologi merupakan salah satu penyebab terjadinya titik api (*hotspot*). Pada penelitian yang dilakukan pada kawasan sawah di Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkajene Kepulauan ini menggunakan analisis *Multiple Regression* (MR) dengan Metode *Stepwise* kemudian diverifikasi menggunakan diagram tebar, nilai RMSE dan Korelasi *Pearson* untuk mengetahui pengaruh dari dinamika atmosfer terhadap kejadian *Hotspot*. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa variabel yang berpengaruh signifikan terhadap kejadian *hotspot* di Kabupaten Maros yaitu ENSO3, ENSO6, IOD3, MONSUN1, MONSUN5, MONSUN7, RF12, FR7, MS3, MS10, MS11 dan PJ dengan nilai uji korelasi *Pearson* sebesar 0.784 dan RMSE sebesar 0.335, sedangkan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap kejadian *hotspot* di Kabupaten Pangkajene Kepulauan yaitu ENSO5, ENSO7, MONSUN2, MONSUN5, MONSUN7, RF5, RF8, RF9, FR2, MS3 dan MS12 dengan nilai uji korelasi *Pearson* sebesar 0.551 dan RMSE sebesar 0.301. Verifikasi dengan menggunakan diagram tebar pada kabupaten Maros dan kabupaten Pangkajene Kepulauan menggambarkan bahwa sebaran titik data berada dan mendekati *line of perfect forecast 45°* yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara data observasi dan data prediksi.

Kata Kunci: Hotspot, *Stepwise*, Dinamika Atmosfer, Maros, Pangkajene Kepulauan.

ABSTRACT

Hotspot is one indicator that can be used as an early detection of forest and land fires (Karhutla). Hotspots can indicate the possibility fires of forest if there many more hotspots come up and near in an area. Drought caused by meteorological factors is one of the causes of hotspots. In research conducted in sector field in Maros and Pangkajene Kepulauan used multiple regression (MR) analysis with the stepwise method and then identified using scatter diagrams, RMSE values, and Pearson correlations to determine the effect of atmospheric dynamics on hotspot occurrences. From the results of the research, it was found that the variables that had a significant effect on the occurrence of hotspots in Maros were ENSO3, ENSO6, IOD3, MONSUN1, MONSUN5, MONSUN7, RF12, FR7, MS3, MS10, MS11 and PJ with a Pearson correlation test value in the amount of 0.784 and RMSE of 0.335 , while the variables that have a significant effect occurrences of hotspots in Pangkajene Kepulauan are ENSO5, ENSO7, MONSUN2, MONSUN5, MONSUN7, RF5, RF8, RF9, FR2, MS3 and MS12 with Pearson correlation test values in the amount of 0.551 and RMSE of 0.301. Verification using scatter diagrams in Maros and Pangkajene Kepulauan illustrates that the distribution of data points is close to the line of perfect forecast 45° which indicates that there is a relationship between observation data and prediction data.

Keywords: Hotspots, Stepwise, Atmospheric Dynamics, Maros, Pangkajene Kepulauan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmatnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan judul **Analisis Pengaruh Dinamika Atmosfer Terhadap Kejadian Titik Api (Hotspot) Pada Kawasan Sawah Di Maros Dan Pangkajene Kepulauan** yang merupakan suatu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Terima kasih penulis ucapkan kepada kedua orangtua penulis, **I Wayan Jasi S.Pd M.Si** dan **Adolpina S.Pd** serta saudara penulis yaitu **Dewi, Dian, Sintia, Wisnu** dan **Dika**, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selain itu, ucapan terima kasih juga diberikan kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku dosen Pembimbing Utama dalam penulisan skripsi ini. Terima kasih atas segala waktu, nasihat, ilmu dalam segala hal yang diluangkan untuk penulis sehingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini
2. Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.** selaku dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, nasihat, saran-saran serta ilmunya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Muh. Hamzah, M.T.** dan Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si** selaku Tim Penguji yang telah memberikan nasihat dan kritik dalam penulisan skripsi ini. Terkhusus kepada bapak **Dr. Muh. Hamzah, M.T** sebagai

Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan.

4. Seluruh Dosen Departemen Geofisika FMIPA Unhas, Staf FMIPA Unhas terkhusus Staf Departemen Geofisika FMIPA Unhas, Staf Laboratorium FMIPA Unhas, Staf Perpustakaan Pusat Unhas dan Staf Perpustakaan FMIPA Unhas atas segala bantuan, ilmu serta arahan yang bermanfaat bagi penulis.
5. Kepada **Sri Radhika** yang selalu menemani penulis dari awal kuliah sampai dengan di titik sekarang terima kasih atas segala doa dan perhatiannya kepada penulis.
6. Seluruh teman-teman **HIMAFI 18** dan **HMGEF 18** yang telah menemani penulis sejak berada di bangku perkuliahan terima kasih atas segala dukungannya.
7. Seluruh teman-teman **KM FMIPA Unhas 2018** yang juga menemani penulis selama berada di lingkungan KM FMIPA Unhas terima kasih atas segala dukungannya.
8. Seluruh teman-teman **Kalem Squad** yaitu **Irmawati, Heral, Ayu, Sri, Inul dan Fira** terima kasih atas segala dukungannya.
9. Seluruh teman-teman **KMHDI 2018** yaitu **Agung, Nyuh, Yudi, Sindu, Wiyandi, Vany, Radika, Ayu, Kocong, Aya, Mahesa, Dipa, Tata** dll terima kasih atas segala dukungannya.
10. Seluruh teman-teman **Pace Squad** yaitu **Sandro, Bowo, Adudu, Saweri, Justin, Tara, Tengke, Kemal, Aswan, Sinyo, Dominggus, Brewok,**

Alfian dll terima kasih atas segala dukungannya.

11. Seluruh teman-teman **SEPATU** yaitu **Dwy, Haikal, Gibe, Nurdin, Fajar, Lala, Arsy, indah, ayu** dll terima kasih atas segala dukungannya.
12. Seluruh teman-teman **KKN 107 Unhas Toraja Utara 2** yaitu **Sarwan, Agung, Heral, Gopal, Sandy, Egy, Anggi, Yudi, Chiko, Irma dan Remil** serta **Pak Fadly, Pak Amri** yang telah memberikan tempat untuk kami tinggal, terima kasih atas segala dukungannya.
13. Kepada adik-adik **HMGF 2019** dan **HMGF 2020** terima kasih atas segala dukungannya.
14. Seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

“Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for, for never quitting, I wanna thank me for always being a giver, And tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times”

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis telah mengerahkan segala kemampuan dalam proses penyusunan skripsi ini hingga selesai. Namun sebagai manusia biasa yang memiliki kekurangan, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna.

DAFTAR ISI

<i>Skripsi Geofisika</i>	1
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
SARI BACAAN	4
KATA PENGANTAR	6
DAFTAR ISI	9
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR GAMBAR	13
BAB I	14
PENDAHULUAN	14
I.1 Latar Belakang	14
I.2 Ruang Lingkup	16
I.3 Rumusan Masalah	17
I.4 Tujuan Penelitian	17
BAB II	18
TINJAUAN PUSTAKA	18
II.1 Topografi Wilayah	18
II.2 Dinamika Atmosfer	19
II.2.1 ENSO (<i>El-Nino and Southern Oscillation</i>)	20
II.2.2 IOD (<i>Indian Ocean Dipole</i>)	23
II.2.3 Monsun	26
II.2.4 Hujan	30
II.2.5 Intensitas Radiasi Matahari	31
II.2.6 Tutupan Awan (<i>Cloud Cover</i>)	32
II.2.7 Kelembapan Tanah	33
II.2.8 Analisis <i>Multiple Regression</i> (MR) Metode <i>Stepwise</i>	34

II.2.9	Verifikasi Model Prediksi	37
II.2.9.1	Korelasi <i>Pearson</i> dan RMSE.....	38
II.2.10	Diagram Sebaran.....	40
BAB III	42
METODOLOGI PENELITIAN	42
III.1	Lokasi Penelitian.....	42
III.2	Alat dan Bahan.....	43
III.2.1	Alat.....	43
III.2.2	Bahan	43
III.3	Prosedur Penelitian	44
III.3.1	Persiapan dan Pengumpulan Data.....	44
III.3.1	Pengolahan Data	44
III.4	Bagan Alir Penelitian.....	46
BAB IV	47
HASIL DAN PEMBAHASAN	47
IV.1	Hasil	47
IV.1.1	Grafik Kejadian Hotspot Di Maros Dan Pangkajene Kepulauan .47	
IV.1.2	Model Prediksi Pengaruh Dinamika Atmosfer Terhadap kejadian Hotspot.....	49
IV.1.2.1	Model Prediksi Pengaruh Dinamika Atmosfer Terhadap kejadian Hotspot di Maros dan Pangkajene Kepulauan Pada Tahun 2001-2020	49
IV.1.3	Verifikasi Model Prediksi.....	64
IV.1.3.1	Verifikasi Model Prediksi Kejadian Hotspot dengan Diagram Tebar (<i>Scattered Diagram</i>)	64
IV.1.3.2	Verifikasi Model Prediksi Kejadian Hotspot dengan Korelasi <i>Pearson</i> dan RMSE.....	66
IV.2	Pembahasan.....	67
IV.2.1	Model Prediksi Kejadian Hotspot.....	67

IV.2.1.1 Pengaruh Variabel Signifikan Terhadap Kejadian Hotspot 68	
IV.2.2 Verifikasi Model Prediksi Kejadian Hotspot.....	70
BAB V.....	72
PENUTUP.....	72
V.1 Kesimpulan.....	72
V.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Interpretasi dari nilai r positif.....	39
Tabel 2. 2 Interpretasi dari nilai r negatif.....	39
Tabel 4. 1 Tabel korelasi data Prediksi dan data Observasi Kejadian Hotspot.....	51
Tabel 4. 2 Tabel korelasi data Prediksi dan data Observasi Kejadian Hotspot.....	54
Tabel 4. 3 Nilai Koefisien, Koefisien Beta dan Signifikan pada Model Prediksi Kejadian Hotspot di Maros	55
Tabel 4. 4 Nilai Koefisien, Koefisien Beta dan Signifikan pada Model Prediksi Kejadian Hotspot di Pangkajene Kepulauan.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Nino 3.4 regions	20
Gambar 2. 2 Kondisi El Nino.....	22
Gambar 2. 3 Kondisi La Nina	23
Gambar 2. 4 Ilustrasi kondisi Dipole Mode positif dan negative	25
Gambar 2. 5 Skema Kejadian Angin Monsun (a) Angin Monsun Barat, (b) Angin Monsun Timur.....	28
Gambar 2. 6 Diagram Sebaran	41
Gambar 3. 1 Kabupaten Maros	42
Gambar 3. 2 Kabupaten Pangkajene Kepulauan.....	42
Gambar 3. 3 Peta sebaran kejadian hotspot di Maros dan Pangkajene Kepulauan	43
Gambar 3. 4 Bagan Alir Penelitian	46

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Secara Astronomis wilayah Indonesia terbentang dari 6° LU (Lintang Utara) – 11° LS (Lintang Selatan) dan 95° BT (Bujur Timur) - 141° BT (Bujur Timur). Secara Meteorologis, berbagai bentuk sirkulasi udara, baik zonal maupun meridional dapat mempengaruhi cuaca di Indonesia. Penguapan yang tinggi di Indonesia karena letaknya di zona khatulistiwa, yang menerima banyak radiasi panas matahari. Dinamika atmosfer di Indonesia sangatlah kompleks karena dipengaruhi oleh berbagai unsur, antara lain ENSO (*El-Nino and Southern Oscillation*), IOD (*Indian Ocean Dipole*), Monsun, Intensitas Radiasi Matahari, Curah Hujan, Tutupan Awan, Kelembapan Tanah dan faktor lokal lainnya yang saling berinteraksi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Musim hujan yang lebih pendek sebagai akibat dari penundaan awal musim hujan merupakan salah satu dampak dari perubahan iklim sehingga musim hujan akan lebih singkat. Perubahan iklim, di sisi lain, tinggi hujan musim hujan akan cenderung meningkat sedangkan tinggi hujan musim kemarau cenderung menurun. Hal ini berimplikasi pada risiko banjir atau bahaya longsor pada musim hujan dan meningkatnya risiko kekeringan pada musim kemarau [1].

Kebakaran lahan masih menjadi permasalahan yang belum terselesaikan baik lokal maupun global karena seringnya terjadi. Kebakaran lahan juga berdampak terhadap kehidupan masyarakat tidak hanya di negara tempat

terjadinya, tetapi juga di negara tetangga karena dapat menyebabkan terjadinya degradasi ekosistem, termasuk kerusakan lahan hutan dan vegetasi, pergeseran komposisi ekosistem hutan, perubahan fisiologi tumbuhan, dan masalah kesehatan bagi masyarakat di sekitar lokasi kebakaran sehingga kebakaran lahan merupakan ancaman langsung dan serius bagi berbagai bidang kehidupan manusia, termasuk pertanian sehingga harus diminimalisir kejadiannya. Diperkirakan kerugian sebesar Rp. 221 triliun (\$2,61 juta) akibat perusakan 2,61 juta hektar hutan dan lahan pertanian pada tahun 2015. Oleh karena itu, diperlukan berbagai upaya untuk mengatasinya. Pemantauan titik api (hotspot) dapat membantu dalam mencegah besarnya kerugian saat terjadinya kebakaran dengan melakukan prediksi. Pendeteksi titik panas (hotspot) pada kebakaran dilakukan menggunakan satelit penginderaan jauh.

Lokasi dengan suhu tinggi relatif terhadap sisa hutan dapat diidentifikasi sebagai hotspot. Istilah tersebut dapat ditemukan dalam pasal 1 angka 9 Permenhut No.P 12// Menhut II/2009. Hotspot adalah lokasi titik-titik panas di permukaan bumi yang merupakan indikasi kebakaran hutan atau lahan di dekatnya. Titik-titik api didefinisikan sebagai titik-titik pada citra (pixel atau sub pixel) yang mempunyai suhu sangat tinggi dan berhubungan dengan active fire (Kobaran Api) di permukaan bumi. Nilai temperatur kecerahan dapat digunakan untuk membangun temperatur titik panas [2]. Hotspot dapat dilacak berkat sensor MODIS pada satelit Terra dan Aqua. Dua satelit yang dilengkapi dengan radiometer resolusi tinggi yang disebut Terra dan Aqua yang dapat digunakan untuk mengukur panas permukaan. Data satelit penyebaran titik api dapat dimanfaatkan sebagai indikator

kebakaran hutan/lahan, antara lain kebakaran tajuk, kebakaran permukaan, dan kebakaran tanah [3].

Dalam penelitian ini akan memprediksi korelasi antara dinamika atmosfer terhadap kejadian hotspot dengan menggunakan metode stepwise yang merupakan gabungan antara metode forward dan backward, dimana variabel yang korelasinya tertinggi merupakan variabel yang pertama kali masuk dan significant dengan variabel dependent, variabel yang masuk kedua adalah variabel yang korelasi parsialnya tertinggi dan masih signifikan, setelah variabel tertentu masuk ke dalam model maka variabel lain yang ada di dalam model dievaluasi, jika ada variabel yang tidak significant maka variabel tersebut dikeluarkan. Kelebihan dari model tersebut kedepannya dapat memprediksi pengaruh dari dinamika atmosfer terhadap kejadian hotspot pada kawasan sawah di maros dan Pangkajene Kepulauan sehingga dapat dimanfaatkan untuk menyiapkan diri dalam menghadapi dan mengatasi kemungkinan terjadinya kebakaran lahan.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada analisis pengaruh dari dinamika atmosfer terhadap data kejadian hotspot yang diterbitkan oleh *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) milik NASA. Data Prediksi dan Observasi dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil mulai dari Januari 2001 – Desember 2020. Untuk memverifikasi prediksi ini digunakan metode *stepwise*.

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh dari dinamika atmosfer terhadap kejadian hotspot pada kawasan sawah di Maros dan Pangkajene Kepulauan?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari dinamika atmosfer terhadap kejadian hotspot pada kawasan sawah di Maros dan Pangkajene Kepulauan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Topografi Wilayah

Kabupaten Maros terletak di sebelah barat Sulawesi Selatan yaitu antara 5°01'04.0" Lintang Selatan dan 119°34'35.0" Bujur Timur Bujur Timur yang berbatasan dengan Kabupaten Pangkajene Kepulauan sebelah Utara, Kota Makassar dan Kabupaten Gowa sebelah selatan, Kabupaten Bone disebelah Barat. Kabupaten Maros memiliki luas 1.619,12 km² yang terbagi menjadi 14 kecamatan, termasuk 102 kelurahan. Keadaan topografi wilayah sangat bervariasi mulai dari wilayah datar sampai bergunung-gunung. Sebanyak 70.822 hektar (43 persen dari luas wilayah Kabupaten Maros) dan hampir seluruh wilayah merupakan daerah dataran. Wilayah pegunungan yang memiliki kemiringan lebih dari 40% merupakan 30,8% dari total luas daratan, sedangkan wilayah pesisir merupakan 26,2% sisanya. Selama Juli dan Agustus, Badan Stasiun Meteorologi menunjukkan suhu terendah di Kabupaten Maros sebesar 22,80 °C, sedangkan suhu maksimum yang tercatat 33,70 °C pada bulan Oktober.

Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan merupakan daerah bagian barat dari Provinsi Sulawesi Selatan, dengan Ibukota Pangkajene dan sebagai pusat kegiatan dan wilayah di Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, selain itu karena letaknya yang sangat strategis dekat dengan Ibukota Provinsi Sulawesi Selatan. Berdasarkan letak astronomi, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan berada pada 11.00' Bujur

Timur dan 040. 40' – 080. 00' Lintang Selatan. Berdasarkan posisi geografisnya, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan pada bagian Utara berbatasan dengan Kabupaten Barru, pada bagian Selatan berbatasan dengan Kabupaten Maros, pada bagian Timur berbatasan dengan Kabupaten Maros dan Kabupaten Bone dan pada bagian Barat berbatasan dengan Selat Makassar. Secara Administratif Luas wilayah kabupaten Kabupaten Pangkajene dan kepulauan yaitu 12.362,73 km² yang terbagi menjadi wilayah laut seluas 11.464,44 Km² dan daratan seluas 898,29 Km². Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan memiliki 13 kecamatan, dengan 9 kecamatan terletak pada wilayah daratan dan 4 kecamatan terletak di wilayah kepulauan. Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan kondisi tipe iklim ini menjadi iklim tipe C1 dengan bulan kering < 2 bulan, iklim tipe C2 dengan bulan kering 2-3 bulan, dan iklim dengan bulan kering 3 bulan. Keduanya memiliki bulan basah antara 5-6 bulan secara berturut-turut dalam satu tahun dengan curah hujan rata-rata 2.500-3.000 mm/tahun. Tipe ini merupakan tipe iklim agak basah. Temperatur udara di Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan berada pada kisaran 21° sampai dengan 31° atau rata-rata 26,4°C. Keadaan angin berada pada kecepatan lemah sampai sedang.

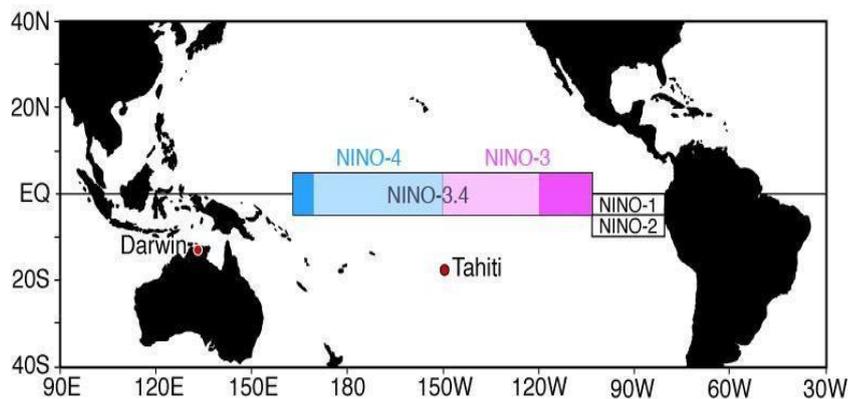
II.2 Dinamika Atmosfer

Cuaca di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai sirkulasi atmosfer, termasuk sirkulasi zonal dan meridional pada atmosfer. Penguapan terjadi cukup tinggi di Indonesia karena letaknya di zona khatulistiwa sehingga menerima banyak radiasi panas matahari. Dinamika atmosfer di Indonesia sangat rumit karena dipengaruhi oleh berbagai unsur, antara lain aktivitas matahari, ENSO (*El-Nino and Southern Oscillation*), IOD (*Indian Ocean Dipole*), MJO (*Madden-Julian Oscillation*),

Monsun dan faktor lokal lainnya yang saling berinteraksi. Terdapat berbagai macam kondisi meteorologi di wilayah laut Indonesia karena interaksi faktor-faktor tersebut (saling memperkuat atau melemahkan).

II.2.1 ENSO (*El-Nino and Southern Oscillation*)

Kejadian ENSO pada tahun 1997 memiliki pengaruh secara global yang mengakibatkan terjadinya kondisi anomali iklim yang berlangsung lama. Fenomena ENSO melibatkan interaksi dua fenomena yang saling berlawanan fase. Kondisi yang bersifat El Nino atau merupakan fase panas dan La Nina yang merupakan fase dingin di wilayah ENSO 3.4 (**Gambar 2.1**). Kejadian ENSO umumnya terjadi dalam kurun waktu 2-7 tahun yang bersifat periodik.



Gambar 2. 1 Nino 3.4 regions

(Climate Prediction Center/NCEP, 2015)

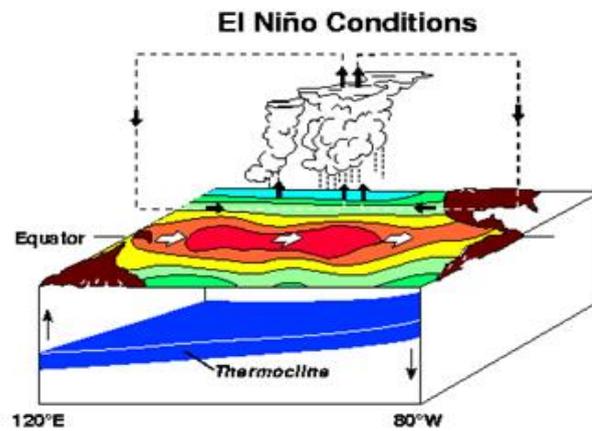
ENSO merupakan salah satu fenomena global yang terjadi di Samudera Pasifik yang ditandai dengan adanya penyimpangan (anomali) *Sea Surface Temperature* (SST) di Pantai Barat Ekuator dan Peru yang lebih tinggi dari batas normalnya.

Aktivitas ENSO berpusat terjadi di Samudra Pasifik, yang terletak di dekat garis khatulistiwa. ENSO pada Samudra Pasifik bagian timur adalah variasi periodik pada angin dan suhu permukaan laut yang mempengaruhi sebagian besar wilayah tropis dan subtropis dunia secara tidak teratur. Dikenal sebagai El Nino ketika menjadi lebih panas, dan sebagai La Nina ketika menjadi lebih dingin. Kondisi laut yang menjadi lebih dingin pada saat El Nino dan lebih hangat pada saat La Nina merupakan gejala ENSO di Indonesia [4]. Dua fase ENSO ini berhubungan dengan Sirkulasi Walker. Sirkulasi Walker yaitu sirkulasi atmosfer yang berada di permukaan Bumi sepanjang ekuator menuju ke barat. Sirkulasi ini menunjukkan bahwa dalam kondisi normal wilayah Pasifik barat akan menjadi pusat pembentukan awan–awan konvektif yang membawa hujan [5].

Dalam jangka panjang, efek El Nino terhadap iklim dapat signifikan. Peristiwa ENSO dapat berupa menghangatnya suhu lautan di wilayah Amerika Selatan, dekat Equador yang meluas hingga perairan Peru. *El-Nino* adalah peristiwa yang tidak normal berupa pemanasan permukaan air laut di laut Pasifik Tropis bagian Timur [6] . Apabila dalam jangka waktu 3 bulan berturut-turut Nilai Indeks Osilasi Selatan berada pada harga minus maka telah terjadi *El-Nino*. Menurut pengamatan El-nino secara periodik dalam rentang 2 sampai 7 tahun atau rata-rata terjadi empat tahun sekali [6].

Selama peristiwa El Nino, angin pasat melemah atau bahkan berbalik arah yang memungkinkan air hangat bermigrasi ke tengah dan timur Samudra Pasifik untuk jangka waktu tertentu. Pendalaman termoklin di perairan Pasifik tengah dan timur menunjukkan tren pemanasan akibat kenaikan suhu laut di atas rata-rata.

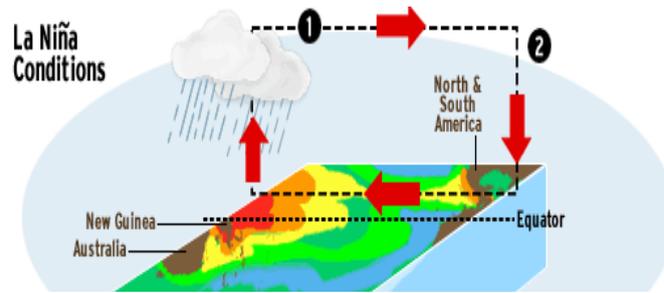
Kondisi perairan laut yang lebih sejuk dari bawah juga berkontribusi terhadap pemanasan



Gambar 2. 2 Kondisi El Nino
Sumber :(www.ucmp.berkeley.edu, 2019)

Suhu permukaan laut yang hangat di Samudra Pasifik bagian barat menyebabkan uap air dan panas naik ke atmosfer. Konveksi udara hangat ke atmosfer, yang dikenal sebagai konveksi atmosfer, dapat menyebabkan awan cumulonimbus dan hujan lebat jika udara cukup basah. Udara yang sekarang lebih kering ini kemudian bergerak ke timur sebelum menuruni Pasifik tropis timur yang lebih dingin. Pola udara naik di barat dan jatuh di timur dengan udara bergerak ke arah barat di permukaan disebut sebagai Sirkulasi Walker [7].

Angin pasat yang lebih kuat dan tekanan udara Pasifik barat yang lebih besar disebabkan oleh meningkatnya sirkulasi Walker dalam kondisi La Nina. Pada Kondisi dimana Angin pasat menguat, maka genangan air hangat terbatas di pasifik barat tropis dapat mengakibatkan suhu permukaan laut lebih tinggi dari biasanya di lepas pantai Australia utara. Suhu permukaan laut di seluruh tropis tengah dan timur Samudera Pasifik menjadi lebih dingin dari biasanya dan termoklin bergerak lebih dekat ke permukaan air dingin dari lautan dalam ditarik ke permukaan saat upwelling menguat [7].



Gambar 2. 3 Kondisi La Nina
(Sumber : cbsnews, 2019)

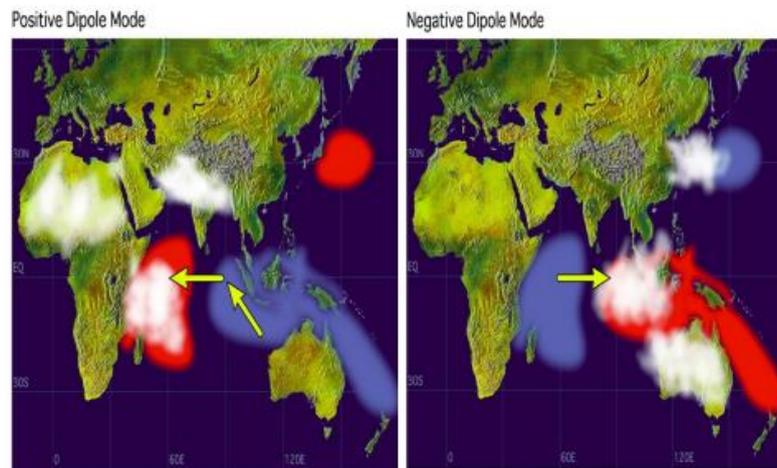
Peningkatan Sirkulasi Walker dapat dikaitkan dengan peningkatan konveksi di wilayah utara Australia. Sirkulasi Walker juga dapat dipercepat oleh kecepatan angin yang tinggi. Ini memperkuat Monsun Australia dan jika kondisinya tepat, mengarahkan peningkatan Kelembapan dan curah hujan ke pedalaman Australia. Peristiwa La Niña dikaitkan dengan peningkatan curah hujan di sebagian besar Australia utara dan timur. *La Niña* cenderung lebih berdampak pada Bagian utara dan tengah Australia dari pada dampak dari *El Niño* [6].

II.2.2 IOD (*Indian Ocean Dipole*)

Fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) adalah Anomali iklim yang terjadi di Samudera Hindia sebagai akibat dari interaksi atmosfer dengan laut pada Samudera Hindia. *Dipole Mode Indeks* (DMI) dapat digunakan dalam mengidentifikasi aktivitas IOD. *Dipole Mode Index* didefinisikan sebagai perbedaan antara anomali suhu permukaan laut di *Western Tropical Indian Ocean* (WTIO atau 50°BT-70°/ 10° S- 10°LU) dengan anomali suhu permukaan laut di *Southeastern Tropical Indian Ocean* (SETIO atau 90°BT- 110°E/ 10° khatulistiwa) [8]. Untuk mengetahui kondisi IOD, digunakan *Dipole Mode Index* (DMI) sebagai alat ukur indikasi adanya suatu gejala. DMI ini mengukur ada tidaknya perubahan antara suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian timur (90° Bujur Timur - 110° Bujur Timur, dan 10° Lintang Selatan - 0° Lintang Selatan) dengan wilayah

Samudera Hindia bagian Barat (50° Bujur Timur- 70° Bujur Timur, dan 10° Lintang Selatan - 10° Lintang Utara). Nilai DMI bisa positif (+) atau negative (-) digunakan sebagai acuan adanya gejala ekstrim. Nilai DMI positif (+) berarti suhu permukaan laut di bagian Timur Samudera Hindia termasuk wilayah Indonesia bagian Barat dalam kondisi dingin sehingga tidak banyak penguapan yang bisa menghasilkan awan hujan. Sedangkan suhu permukaan laut di wilayah Samudera Hindia bagian barat (dekat dengan Benua Afrika) dalam kondisi panas, sehingga banyak terjadi penguapan dan menghasilkan awan penghasil hujan. Dengan kata lain bahwa nilai DMI positif (+) menyebabkan menurunnya curah hujan di wilayah Indonesia bagian Barat. Sebaliknya jika DMI bernilai negatif (-), maka suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian Timur termasuk wilayah Indonesia bagian Barat akan meningkat, sehingga banyak terjadi penguapan dan menghasilkan banyak awan hujan. Pada kondisi DMI negatif maka banyak turun hujan di wilayah Indonesia bagian Barat [9].

IOD diidentifikasi ke dalam dua fase yaitu fase positif dan negatif. *Dipole Mode* positif dicirikan dengan menurunnya suhu permukaan laut di SETIO dan meningkatnya suhu permukaan laut di WTIO. Jika suhu permukaan laut di WTIO lebih dingin dari netralnya sedangkan di SETIO lebih hangat dari netralnya, maka kondisi ini akan dinyatakan sebagai *Dipole Mode* negatif [8].



Gambar 2. 4 Ilustrasi kondisi Dipole Mode positif dan negative
(Sumber : jamstec.go.jp)

Ketika pantai barat Sumatera memiliki suhu permukaan laut yang bertekanan tinggi, sedangkan pantai timur Afrika memiliki suhu permukaan laut yang rendah karena tekanan rendah sehingga terjadi aliran udara dari bagian Sumatera ke bagian timur Afrika yang mengakibatkan pembentukan awan-awan konvektif di wilayah Afrika dan menghasilkan curah hujan melebihi batas normal, kondisi ini disebut sebagai IOD Positif. Sebaliknya, di wilayah Barat Sumatra terjadi kekeringan setelah massa uap airnya gagal diturunkan sebagai hujan. Selama fenomena IOD positif, suhu permukaan laut secara anomali menghangat di Samudera Hindia barat, sedangkan di bagian timur lebih dingin dari normalnya[10].

Perubahan pada suhu permukaan laut selama IOD terjadi terkait dengan perubahan medan angin di tengah samudera Hindia ekuator Sehingga angin bergerak berlawanan dari biasanya yaitu barat ke timur selama IOD positif. Selain itu, proses konveksi yang biasanya terjadi di atas Samudera Hindia bagian timur yang menghangat bergerak ke arah barat. Hasil dari kondisi tersebut adalah hujan

lebat di Afrika bagian timur dan meninggalkan wilayah Indonesia dengan sedikit hujan yang kemudian diikuti dengan kekeringan dan hutan yang terbakar. Sebaliknya, pada saat IOD negatif, wilayah barat Sumatera termasuk Sumatera Barat mengalami surplus curah hujan dan wilayah timur Afrika mengalami kekeringan. Hal ini terjadi berdasarkan asumsi bahwa tingginya tekanan di wilayah Afrika Bagian Timur dan tekanan rendah di Bagian Barat Indonesia menyebabkan terjadinya pergerakan awan konvektif yang dibentuk di daerah Samudera Hindia dari wilayah Afrika ke wilayah Indonesia sehingga mengakibatkan tingginya curah hujan di wilayah Indonesia khususnya Indonesia Bagian Barat. Di sini terlihat adanya keterkaitan antara fenomena IOD dengan perilaku curah hujan di wilayah Indonesia Bagian Barat [11].

II.2.3 Monsun

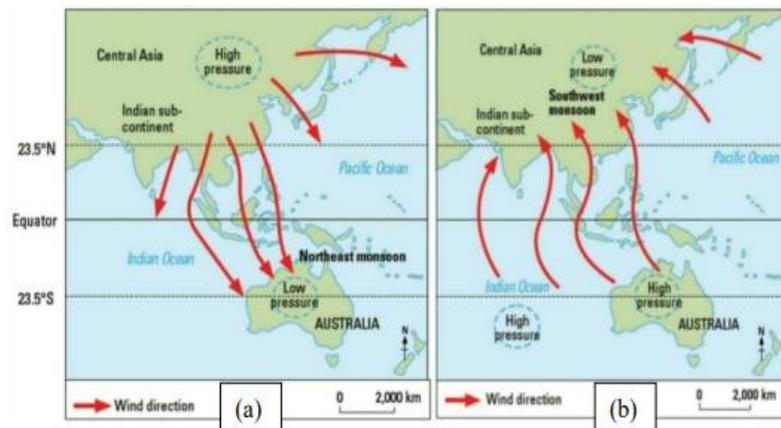
Dalam buku *Glossary of Meteorology American Meteorological Society (1980)* menyatakan bahwa *monsoon* semula digunakan untuk menamakan angin di laut Arab yang dalam setahun bertiup berganti arah, enam bulan dari arah timur laut dan enam bulan lainnya dari arah tenggara. Bergantinya arah tiupan ini diakibatkan oleh perbedaan tekanan baik di darat maupun di laut, ketika terjadi musim panas atau musim dingin. Namun, dalam kalangan meteorologi, kata Monsun (dalam bahasa Inggris ditulis "*monsoon*") digunakan untuk istilah nama angin dan fenomena-fenomena terkait yang setengah tahun berganti. Pada tahun 1686, Edmund Halley mengemukakan teori bahwa Monsun terjadi akibat adanya perbedaan panas antara daratan dengan lautan sebagai hasil dari *zenithal march* matahari.

Iklim Monsun ditandai dengan terjadinya dua musim yang berbeda, musim hujan pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF) dan musim kering pada musim Juni, Juli, Agustus (JJA) [9]. Terdapat tiga penyebab terjadinya Monsun menurut Kyung Jin, pertama perbedaan panas antara benua dan samudra, kedua gaya coriolis akibat rotasi bumi dan yang ketiga peran serta air sebagai pelepas energi. Pada garis khatulistiwa, angin yang berada dibawah pengaruh efek coriolis akan berhembus ke kanan dan tertarik ke arah sel tekanan rendah dan menjadi angin Monsun barat-daya yang kuat dan yang membawa hujan deras ke selatan, ke Asia Tenggara dan Timur pada saat angin itu bergerak ke arah selatan.

Menurut Ramage Pada tahun 1971, ciri daerah Monsun yaitu :

1. Arah angin berubah setidaknya 120° antara Januari dan Juli.
2. Lebih dari 40% angin utama terjadi sepanjang bulan Januari dan Juli.
3. Kecepatan angin yang dihasilkan lebih dari 3 m/s pada rata-rata bulanan.
4. Sekurang-kurangnya satu siklon dan antisiklon terjadi bergantian di daerah 50 lintang dan bujur.

Musim Barat (Desember hingga Februari), Musim Peralihan I (Maret hingga Mei), dan Musim Peralihan II (Juni – Agustus) hanyalah beberapa contoh bagaimana pola tersebut dapat terlihat [12]. Hujan menghasilkan angin timur selama Musim Timur. Dengan demikian, Arus Khatulistiwa Selatan memanjang ke utara, menyusuri pantai selatan Jawa ke Sumbawa sebelum dipaksa berbelok ke barat daya sekali lagi. Arus permukaan saat ini berputar ke kiri dalam pola *counter-cyclonic*. *Upwelling* atau air dari bawah terjadi sebagai akibat dari vakum yang dibentuk oleh arus yang membawa air permukaan menjauh dari pantai [13]



Gambar 2.5 Skema Kejadian Angin Monsun

(a) Angin Monsun Barat, (b) Angin Monsun Timur

Ketebalan termoklin terbukti dipengaruhi oleh fluktuasi Monsun, yang diduga terkait dengan intensitas sinar matahari yang masuk dalam kolom perairan. Terjadi penurunan batas bawah termoklin dan peningkatan ketebalannya selama musim timur karena sinar matahari yang masuk ke kolom perairan lebih intens. La Nina – IOD (-) merupakan contoh kejadian dimana lapisan termoklin lebih tebal pada musim barat [14]. Ada perbedaan 218,9 meter antara musim barat dan timur ketika terjadi peralihan ke arah timur. Akibatnya, Monsun barat jauh lebih kering daripada sebelumnya.

Pada musim dingin, massa udara mengalir dari pusat tekanan udara tinggi ke pusat tekanan udara rendah ke arah selatan dan tenggara melewati Korea, Cina, dan Jepang. Massa udara yang ke arah tenggara mengalami konvergensi di Laut Cina Selatan dengan massa udara timur dari Samudra Pasifik. Massa udara yang menuju ke arah selatan dan yang mengalami konvergensi akan bergabung menuju tenggara dan akan membentuk Monsun timur laut yang selanjutnya menjadi angin

baratan di Indonesia [15].

Angin Monsun pada musim panas dapat berasal dari 3 sumber yaitu pertama massa udara yang bersifat lembab, hangat, dan mengalami konvergensi pada Samudra Hindia setelah mendekati equator. Kedua yaitu yang memiliki sifat lembab dan tidak stabil yang bersumber dari tekanan tinggi Benua Australia. Ketiga yang bersifat lembab, hangat, dan lebih stabil namun ketika melewati Samudra massa udaranya menjadi tidak stabil yang bersumber dari Samudra Pasifik.

Monsun Asia Selatan, Monsun Asia Tenggara, dan Monsun Australia semuanya memiliki yurisdiksi atas Indonesia, bukan terbentuk di wilayah Indonesia. Kombinasi dari tiga sistem Monsun di Indonesia menciptakan sistem Monsunal Indonesia. Hanya sebagian kecil dari pantai barat Indonesia yang mengalami musim angin barat (monsun barat) dan musim timur laut selama musim dingin (monsun timur laut). Demikian pula, selama bulan-bulan musim panas di Asia, disebagian besar wilayah Indonesia terjadi musim angin timur tenggara (musim timur) dan sebagian kecil di bagian barat terjadi musim angin barat daya (musim barat daya) [16].

Musim hujan terjadi di Indonesia pada musim barat karena adanya uap air dari Laut Cina Selatan. Ketika datang ke musim timur, udara kering berasal dari Australia, yang terutama berupa gurun dan hanya dibatasi oleh selat sempit. Akibatnya, bulan September menandai awal musim kemarau di Indonesia, yang paling mempengaruhi wilayah selatan dan timur Indonesia. Siklon tropis yang dikenal sebagai PPAT (*Pias Pumpun Antartropic*) dapat dilihat di Indonesia selama musim Monsun barat [16].

II.2.4 Hujan

Menurut Tjasyono dan Nababan [17] , Secara umum hujan adalah endapan cair yang merupakan hasil pengembunan atau perubahan keadaan dari tetesan gas menjadi air di awan, yang disertai dengan penambahan ukuran yang cukup besar untuk mengatasi gaya apung di udara. Hujan dengan intensitas tetesan-tetesan kecil yang hampir tak mencapai permukaan disebut sebagai gerimis. Sedangkan jika butir-butir air tidak sampai ke permukaan tanah dan menguap seluruhnya sebelum mencapai tanah, maka akan terjadi kabut (*mist*) atau kabut tipis.

Menurut Loupatty [18], hujan merupakan jatuhnya titik-titik air ke tanah yang berasal dari kumpulan embun yang bergabung yang membentuk awan. Endapan dalam bentuk cair maupun padat yang meliputi tetes hujan, salju, batu es embun dan embun kristal disebut sebagai Curah Hujan. Pencatatan jumlah curah hujan menggunakan satuan inci atau milimeter, jika jumlah curah hujan 1 mm artinya air hujan yang jatuh di atas permukaan datar seluas 1 meter persegi setinggi 1 mm dimana air hujan ini tidak meresap ke dalam tanah, mengalir atau menguap ke atmosfer.

Indonesia merupakan negara tropis yang menerima banyak hujan setiap tahunnya, terutama di daerah pegunungan. Di daerah tropis, konveksi dan pembentukan awan hujan panas bertanggung jawab atas melimpahnya curah hujan di wilayah tersebut. Massa udara lembab naik ke atmosfer, menghasilkan presipitasi. Jumlah curah hujan sangat bervariasi dari tahun ke tahun dan sangat tergantung pada berbagai faktor, termasuk intensitas, durasi, frekuensi, dan lokasi

geografis Indonesia yang menerima curah hujan dalam persentase mulai dari 8 persen hingga 37 persen, dengan rata-rata 22 persen sepanjang tahun [19].

Hujan terbagi menjadi tiga jenis yaitu [17] :

- 1) Hujan konveksi, hujan ini disebabkan karena pemanasan maka udara permukaan akan memuai dan dipaksa untuk naik. Udara yang naik ini akan mengkondensasi. Awan Cumulonimbus akan muncul jika udara yang naik ini mengkondensasi banyak sekali dan awan ini akan menghasilkan endapan yang berlimpah-limpah
- 2) Hujan orografis, hujan ini disebabkan karena udara yang dipaksa naik oleh efek dari blokade bentuk tanah atau pegunungan
- 3) Hujan konvergensi dan frontal, Jika massa udara yang besar dan padat bersatu dalam aliran horizontal, ini akan menyebabkan gerakan ke atas dalam arus horizontal. Akibat kenaikan tekanan udara ini, pertumbuhan dan endapan awan terjadi.

II.2.5 Intensitas Radiasi Matahari

Seperti yang dikemukakan oleh Duffie (2006), matahari memiliki diameter $1,39 \times 10^9$ m dan jarak rata-rata dari permukaan bumi $1,5 \times 10^{11}$ meter. Bumi mengelilingi matahari dalam pola oval, dengan matahari di tengah sebagai pusatnya. Jarak antara Bumi dan Matahari berubah sebagai akibat dari bentuk elips dari jalur Bumi ke Matahari. Jarak terjauh terjadi pada tanggal 3 Juli dengan jarak $1,52 \times 10^{11}$ m dan $1,47 \times 10^{11}$ meter di bulan Februari sebagai jarak terdekat. Atmosfer bumi menerima radiasi matahari pada intensitas yang bervariasi tergantung pada seberapa jauh jaraknya dari Matahari.

Jumlah energi yang diterima oleh suatu permukaan per satuan luas dan per satuan waktu disebut sebagai Intensitas radiasi matahari. Pengukuran berbasis satuan waktu berarti termasuk pula lama penyinaran atau lama matahari bersinar dalam satu hari dalam pengukurannya. Selain itu, lintang, tutupan awan, topografi, dan musim yang berlangsung, semuanya berpengaruh pada seberapa besar radiasi yang mengenai permukaan bumi. Misalnya, di daerah basah yang memiliki banyak awan, energi matahari yang diserap permukaan bumi bisa turun hingga 40 persen, tetapi di gurun yang kering bisa naik hingga 80 persen [20]. Musim, letak geografis dan ketinggian tempat merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi intensitas radiasi matahari di Indonesia yang memiliki iklim tropis.

II.2.6 Tutupan Awan (*Cloud Cover*)

Sebagai sumber energi terbarukan, energi surya juga dinyatakan tidak menimbulkan limbah selama pemanfaatannya. Oleh karena itu, energi matahari akan menjadi salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan di masa mendatang. Energi matahari dapat berupa radiasi elektromagnetik yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik yang dipancarkan ke bumi sebagai cahaya matahari. Pembangkit listrik tenaga surya memiliki potensi untuk menggantikan pembangkit listrik yang menggunakan uap, minyak, atau batubara sebagai bahan bakar utamanya karena ramah lingkungan. Besarnya energi matahari yang diserap oleh sel PV (*photovoltaic*) juga dipengaruhi oleh jumlah tutupan awan di atasnya. Ini adalah perangkat semikonduktor yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang berguna. Konversi ini disebut sebagai efek *photovoltaic*. Jika pancaran sinar matahari tertutup awan, jumlah

cahaya yang mencapai permukaan bumi berkurang. Tutupan awan memiliki efek pada insolasi. Semakin tebal awan semakin berkurang juga energi yang dihasilkan, bahkan jika terdapat awan yang sangat tebal, tidak menutup kemungkinan solar panel menghasilkan energi yang sangat sedikit [21].

II.2.7 Kelembapan Tanah

Menurut definisi yang lebih umum, kelembaban tanah dapat didefinisikan sebagai air yang terkandung di permukaan tanah tak jenuh dari Bumi yang berasal dari Curah hujan, pencairan salju, atau daya tarik kapiler dari air tanah. Kadar air dalam tanah sangat penting dalam menunjang sistem iklim, hidrologi, dan ekologi. Perkiraan berdasarkan model standar dalam waktu 280 hari, volume kelembapan tanah di dunia adalah sekitar $70 \times 10^3 \text{ km}^3$ (0,005 persen). Kadar air tanah juga berdampak langsung pada bursa jejak gas termasuk CO_2 dan sangat mempengaruhi interaksi antara permukaan tanah dan iklim, yang pada gilirannya akan mempengaruhi dinamika lapisan batas atmosfer dan dengan demikian cuaca dan iklim global ikut terpengaruh. Pengelolaan permukaan tanah dan berbagai proses dan putaran umpan balik sistem iklim sangat bergantung pada hidrologis atau air yang tersimpan di daratan. Tanah basah dan daerah dengan tanah jenuh yang cukup besar (misalnya, pada ketinggian rendah dan dekat sungai) akan menyebabkan aliran permukaan yang lebih banyak dan lebih cepat. Kejenuhan sebelumnya memiliki dampak yang signifikan pada seberapa cepat tanah merespon hujan atau pencairan salju dan dengan demikian menghasilkan banjir, karena tanah jenuh membagi air hujan menjadi infiltrasi dan limpasan. Dengan mengetahui bagaimana kelembapan tanah didistribusikan, kita dapat memprediksi berapa banyak air yang

dapat meresap ke saluran air seperti sungai, waduk, infrastruktur, dan berapa banyak yang akan hanyut dalam banjir dan erosi. Manfaat lainnya dapat sebagai acuan dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, penelitian mengenai ekosistem dan ekologi, kebutuhan air pertanian, pengembangan dan produksi tanaman, dan pengelolaan irigasi juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi waktu terbaik untuk mulai bercocok tanam atau penanaman.

II.2.8 Analisis *Multiple Regression* (MR) Metode *Stepwise*

Stepwise regression adalah Regresi berganda dimana metode regresi ini akan menghilangkan variabel independen yang tidak penting. *Stepwise regression* pada dasarnya menjalankan regresi berganda beberapa kali, setiap kali menghapus variabel berkorelasi lemah. Hingga pada akhirnya tersisa variabel-variabel yang menjelaskan distribusi yang terbaik. Satu-satunya persyaratan adalah bahwa data terdistribusi secara normal dan bahwa tidak ada korelasi antara variabel independen. Karena memungkinkan variabel independen untuk masuk dan keluar dari model regresi, teknik ini membutuhkan langkah yang lebih sedikit untuk mengembangkan sebuah model [22].

Analisis regresi merupakan salah satu metode statistik yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana hubungan sebuah variabel bebas dengan beberapa variabel tak bebas. Regresi dikatakan linier jika variabel bebas dan variabel terikat terhubung secara linier. Sementara itu dikatakan non linier jika hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat tidak linier[23]. Analisis regresi linier sederhana digunakan ketika hanya ada satu variabel dalam melakukan analisis. Analisis regresi linier berganda (juga dikenal sebagai Regresi Berganda) digunakan apabila

terdapat satu atau lebih variabel independen dalam melakukan analisis[24]. Model regresi linier berganda (juga dikenal sebagai regresi berganda) adalah persamaan untuk menyatakan hubungan antara beberapa variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_k) dan satu variabel dependen variabel (Y) Secara matematis hubungan kedua variabel tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut [25]:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

Y : Variabel Terikat / Hasil Regresi

B_1X_2 : Variabel Bebas / Prediktor

a : Konstanta

b_1b_2 : Koefisien Regresi

Draper dan Smith (1998) menyatakan bahwa empat asumsi dasar regresi berganda harus dipenuhi. *Non-normalitas, non-heteroskedastisitas, non-autokorelasi*, dan *non-multikolinearitas* adalah asumsi yang harus dipenuhi. Jika variabel independen dikorelasikan atau dihubungkan dengan cara apapun, maka terdapat kemungkinan terjadinya masalah kolinearitas ganda (*multikolinear*). *Multikolinearitas* mungkin menjadi masalah karena koefisien beta dalam model tidak stabil, yang akan berpengaruh pada hasil prediksi. Apabila Tidak ada korelasi antara variabel independen (tidak terjadi *multikolinearitas*) dan dapat menjelaskan perilaku peubah tak bebas dengan sebaik-baiknya dengan memilih peubah-peubah bebas dari sekian banyak peubah bebas yang tersedia dalam data[24]. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Fahrmeir et al. (2013) , Pujilestari et al. (2017), dan Andayani et al. (2016) telah menemukan bahwa regresi bertahap adalah

model regresi terbaik ketika berhadapan dengan *multikolinearitas*, dan Regresi bertahap yang merupakan gabungan dari metode *backward elimination* dan *forward selection*. Metode Seleksi Maju (*The Forward Selection Method*) adalah metode untuk memilih model regresi terbaik dengan menilai apakah suatu variabel yang sebelumnya telah masuk dalam model harus dihilangkan atau tidak. Berbeda dengan metode seleksi maju, metode eliminasi terbalik (*Backward Elimination Method*) dimulai dengan meregresikan peubah respon dengan semua peubah bebas potensial dan kemudian mengeluarkan satu per satu peubah bebas. Proses ini dilakukan terus menerus hingga tidak ada lagi variabel yang memenuhi kriteria untuk ditambahkan atau dihilangkan[23].

Regresi *Stepwise* dijelaskan oleh Hanke dan Wiehern (2005) sebagai algoritma yang terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan matriks korelasi antara variabel dependen Y (*hasil, t/ha*) terhadap variabel bebas (X_1-X_{14})
2. Dalam regresi, variabel independen adalah variabel yang pertama masuk ke persamaan dan memiliki koefisien korelasi dengan variabel dependen.
3. Variabel yang selanjutnya masuk ke persamaan adalah salah satu variabel (selain yang sudah masuk sebelumnya) yang mempunyai kontribusi signifikan pada jumlah kuadrat signifikan dari variabel yang masuk pada persamaan regresi yang ditentukan oleh *F test*. Nilai dari statistik *F* yang harus dilampaui oleh variabel bebas disebut *F to enter*
4. Untuk menentukan apakah variabel tambahan signifikan secara statistik atau tidak, *F test* digunakan dalam mengukur kontribusi masing-masing terhadap

total kuadrat regresi dari semua variabel lain yang sudah termasuk dalam persamaan. Jika statistik F kurang dari nilai yang disebut F to remove, maka variabel tersebut dihilangkan dari persamaan regresi

5. Penjelasan tentang hasil model diperoleh.

II.2.9 Verifikasi Model Prediksi

Verifikasi adalah prosedur yang digunakan untuk menentukan kualitas dari suatu prediksi (*forecast*). Teknik ini memerlukan perbandingan antara hasil yang diharapkan dan nilai aktual. Untuk menentukan apakah model dan data kompatibel, dilakukan prosedur verifikasi. Untuk melihat kesesuaian dari hasil prediksi dan observasi maka dapat dilakukan secara kualitatif, sedangkan untuk menentukan akurasi model sekaligus kesalahan dalam memprediksi maka dapat dilakukan secara kuantitatif menggunakan seperangkat formulasi matematika. Verifikasi diperlukan karena tiga (tiga) alasan utama. Pertama dan terpenting yaitu penting untuk mengawasi (memantau) keakuratan prakiraan dan apakah prakiraan membaik atau tidak seiring waktu. Kedua, meningkatkan akurasi model dalam membuat prediksi. Hal ini bisa dimulai dengan menyelidiki kesalahan apa yang telah kita lakukan ketika memprediksi. Sebagai langkah terakhir, perlu dilakukan evaluasi berbagai prediksi model dengan besaran/fenomena yang sama untuk memilih model yang optimal. Dengan hasil ini, maka akan dapat menentukan model yang lebih unggul dibandingkan dengan model lainnya, serta menunjukkan dengan tepat di mana dan mengapa itu mengungguli yang lain [26].

Korelasi Pearson dan RMSE (*Root-Mean-Squared Error*) adalah dua besaran statistik yang sering digunakan untuk menilai tingkat akurasi sebuah model.

Diagram sebaran (*scattered diagram*) juga dapat digunakan dalam melihat keakuratan sebuah model [27].

II.2.9.1 Korelasi *Pearson* dan RMSE

Menghitung korelasi *Pearson* antara dua variabel adalah semacam rumus yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur kemampuan variabel independen dan dependen untuk mengasosiasikan satu sama lain atau melihat hubungan linier antara variabel independen dan dependen [28]. Hasil uji korelasi *pearson* sangat erat kaitannya dengan keakuratan prediksi suatu model. Akurasi prediksi sebuah model berbanding lurus dengan hasil korelasi *pearson*nya. Semakin besar nilai korelasinya maka semakin bagus pula akurasi prediksi sebuah model [29].

Koefisien korelasi dinyatakan dalam persamaan [28]:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2)(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2)}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

n = jumlah data

r = koefisien korelasi antara data observasi dan data prediksi

X = data observasi

Y = data prediksi

Secara matematis, korelasi menunjukkan hubungan antara dua variabel dalam bentuk persentase. Untuk lebih memahami nilai variabel r , disajikan tabel kategorisasi berikut [28]:

Tabel 2. 1 Interpretasi dari nilai r positif

r	Interpretasi
0	Tidak berkolerasi
0,01 s/d 0,20	Sangat rendah
0,21 s/d 0,40	Rendah
0,41 s/d 0,60	Agak rendah
0,61 s/d 0,80	Cukup
0,81 s/d 0,99	Tinggi
1	Sangat tinggi

Tabel 2. 2 Interpretasi dari nilai r negatif

r	Interpretasi
0	Tidak berkolerasi
0,01 s/d 0,20	Sangat rendah
0,21 s/d 0,40	Rendah
0,41 s/d 0,60	Agak rendah
0,61 s/d 0,80	Cukup
0,81 s/d 0,99	Tinggi
1	Sangat tinggi

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Tetapi *Root Mean Square Error* (RMSE) bertentangan langsung dengan koefisien korelasi *Pearson*. Semakin akurat prediksi model,

semakin rendah root mean square error (RMSE). Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) diperoleh dengan cara menghitung nilai akar dari rata-rata kuadrat dari nilai kesalahan yang menggambarkan selisih antara data antara observasi dengan nilai hasil prediksi, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [29] :

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

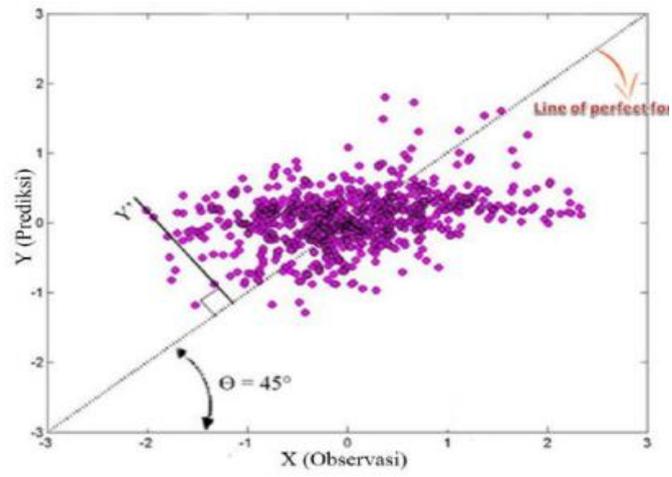
X= data observasi

Y= data prediksi

n= jumlah data

II.2.10 Diagram Sebaran

Diagram sebaran merupakan diagram yang menunjukkan seberapa akurat prediksi model yang dinamis. Distribusi data dapat digunakan untuk menunjukkan seberapa akurat prediksi masing-masing model dengan melihat seberapa dekat distribusi data ke garis 45° (garis ramalan sempurna). Semakin jauh jarak titik data dari line of perfect forecast maka semakin berbeda pula kemiripan antara prediksi dan observasi [27].



Gambar 2. 6 Diagram Sebaran (Halide, 2016)