

Skripsi Geofisika

Estimasi Surplus dan Defisit Curah Hujan di Bandar Udara

Sultan Hasanuddin Berbasis Indeks ENSO



OLEH :

NUR FISKAH

H061 18 1024

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN

ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

HALAMAN JUDUL

**Estimasi Surplus dan Defisit Curah Hujan di Bandar Udara
Sultan Hasanuddin Berbasis Indeks ENSO**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

Nur Fiskah

H061181024

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**ESTIMASI SURPLUS DAN DEFISIT CURAH HUJAN DI BANDAR
UDARA SULTAN HASANUDDIN BERBASIS INDEKS ENSO**

Disusun dan diajukan oleh

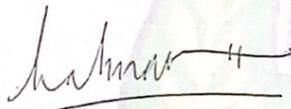
NUR FISKAH

H061181024

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada tanggal Oktober 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pertama



Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.
NIP.196709032001121001

Ketua Departemen Geofisika



Dr. Muhi Alfinuddin Hamzah, M.Eng.
NIP.196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Fiskah
Nim : H061181024
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya berjudul :

**“Estimasi Surplus dan Defisit Curah Hujan di Bandar Udara Sultan
Hasanuddin Berbasis Indeks ENSO”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya 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, 21 Oktober 2022

Yang Menyatakan



NUR FISKAH

H061181024

INTI SARI

Fenomena ENSO yang terletak di wilayah samudera Pasifik tropis memiliki dampak terhadap variabilitas iklim dunia. Kemunculan salah satu dari 3 fase ENSO (El Nino, Netral, dan La Nina) memiliki pengaruh dan konsekuensi yang signifikan terhadap masyarakat. Untuk memprediksi kejadian mendatang dengan tepat, beberapa Institusi dunia rutin menyediakan prediksi ENSO hingga beberapa musim kedepan di website IRI (*International Research Institute*) yang dapat diakses oleh masyarakat umum. Penelitian ini menunjukkan bagaimana menerapkan Indeks Nino 3.4 musim JAS, ASO, SON, OND, NDJ dan DJF untuk mengestimasi anomali curah hujan terstandar di Bandar Udara Sultan Hasanuddin periode 1950-2019. Anomali curah hujan terstandar diperoleh melalui proses pencocokan kurva polinomial berorde 2 kemudian dilakukan normalisasi melalui proses anomali standar. Berdasarkan analisis, pada musim JAS, ASO, SON, OND, NDJ dan DJF estimasi rata-rata anomali curah hujan masing-masing musim adalah 27,48 mm, 33,03 mm, 61,86 mm, 71,25 mm, 72,43 mm dan 56,28 mm. Masa kelebihan/surplus curah hujan berkaitan dengan datangnya La Nina, sedangkan munculnya El Nino berkaitan dengan masa kekurangan/defisit curah hujan. Dengan adanya informasi mengenai kondisi ekstrim tersebut dapat berfungsi sebagai sistem peringatan dini sehingga dapat memicu tindakanantisipasi dari para pengelola terkait dalam mengeluarkan respon yang tepat guna dan tepat waktu.

Kata Kunci : Prediksi ENSO musiman; Indeks ENSO; Surplus dan Defisit Curah Hujan; Pengambilan Keputusan.

ABSTRACT

The ENSO phenomenon which is located in the tropical Pacific Ocean region has an impact on world climate variability. The emergence of one of the 3 phases of ENSO (El Nino, Neutral, and La Nina) has a significant impact and consequence on society. To predict future events accurately, several world institutions routinely provide ENSO predictions for the next few seasons on the IRI (International Research Institute) website that can be accessed by the general public. This study shows how to apply the Nino 3.4 season index of JAS, ASO, SON, OND, NDJ and DJF to estimate standardized rainfall anomalies at Sultan Hasanuddin Airport for the period 1950-2019. The standardized rainfall anomaly is obtained by matching the polynomial curve of order 2 and then normalized through the standard anomaly process. Based on the analysis, in the JAS, ASO, SON, OND, NDJ and DJF seasons, the estimated average rainfall anomalies for each season are 27.48 mm, 33.03 mm, 61.86 mm, 71.25 mm, 72, 43 mm and 56.28 mm. The period of excess/surplus rainfall is related to the arrival of La Nina, while the emergence of El Nino is related to the period of shortage/deficit of rainfall. With the information about these extreme conditions, it can function as an early warning system so that it can trigger anticipatory actions from the relevant managers in issuing an appropriate and timely response.

Keywords: Seasonal ENSO Prediction; ENSO Index; Rainfall Surplus and Deficit; Decision Making.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuu.

Alhamdulillahirabbil'alamiin. Tidak ada kata yang paling layak penulis ucapkan selain kalimat syukur ini kepada ﷻ *Subhanahu Wa Ta'ala.* Tuhan semesta alam yang dengan segala Rahman dan Rahim-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Estimasi Surplus dan Defisit Curah Hujan di Bandar Udara Sultan Hasanuddin Berbasis Indeks ENSO”**. Shalawat dan Salam tidak luput untuk selalu tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammadﷺ, keluarga, para sahabat beliau dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Terima kasih penulis ucapkan kepada kedua orangtua penulis, Ayahanda **Baharuddin Beddu Bara** dan Ibunda **Hasnawati Damise** yang senantiasa mendoakan, mendukung, memberikan dorongan, semangat, cinta dan kasih sayang kepada penulis hingga menjadi seperti sekarang ini. Dalam penulisan skripsi tugas akhir ini penulis ingin menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada banyak pihak yang telah membantu penulis dalam bentuk apapun, dalam tindak sekecil apapun, antara lain kepada:

1. Kepada Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.** selaku pembimbing utama dan Bapak **Dr. Erfan, M.Si** selaku pembimbing pertama. Terimakasih atas segala bimbingan, waktu, ilmu, nasehat, masukan-masukan kepada penulis dan segala hal yang diluangkan untuk penulis, hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi tugas akhir ini.

2. Kepada Bapak **Dr. Muhammad Hamzah, S.Si, MT** dan Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si** selaku tim penguji. Terimakasih atas kritik dan saran yang akhirnya membantu lahirnya segala tulisan yang ada dalam skripsi ini.
3. Kepada Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika, serta seluruh **staf Departemen Geofisika** dan **Staf Fakultas MIPA** yang telah membantu dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik, terkhusus selama pengurusan penelitian ini. Terimakasih.
4. Kepada Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku Penasehat Akademik penulis. Terimakasih atas nasehat, motivasi dan segala kebaikan. Serta kepada dosen-dosen yang telah mendedikasikan waktunya sebagai pengajar. Terimakasih atas ilmu yang tidak akan pernah sia-sia kalian ajarkan. Semoga menjadi amal jariah untuk kehidupan akhirat.
5. Kepada Kakak **Nur Fadillah Baharuddin** terima kasih atas segala perhatian, motivasi, kasih sayang serta doanya. Terima kasih telah menjadi bagian motivator yang luar biasa sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
6. Kepada **Aurulya Kinza Zada Azzahrah** dan **Apriliya Putri Ersayatna** sahabat sedari SMA yang selalu meluangkan waktu, memberikan dukungan, bantuan, semangat serta menguatkan penulis selama penulisan skripsi.
7. Kepada **Juni Annisa Karim, Resky Amelya, Asmiyeni Islamiati, Nilam Syukur, Sheren Fairuz Sahira Rohmana** dan **Evy Sulfiani** sahabat

cendol yang terus memberikan semangat dan dukungan selama ini, serta kenangan manis bagi penulis selama masa perkuliahan.

8. Kepada teman-teman seperjuangan **Geofisika 2018, HMGF 18'** dan **Himafi 18** atas doa, dukungan, maupun bantuan dalam menjalani perkuliahan dan menyelesaikan skripsi.
9. Kepada **keluarga, kerabat** dan **seluruh pihak** secara langsung maupun tidak langsung yang telah sangat banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi maupun studi yang tidak sempat disebutkan satu persatu.
10. Serta terima kasih untuk diri saya sendiri yang telah berjuang menyelesaikan skripsi dan bertahan dalam menikmati proses panjang skripsi ini.

Skripsi ini tidak mungkin selesai jika hanya campur tangan Penulis sendirian. Semoga Allah merahmati kita dalam kebaikan-kebaikan ikhlas kita. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Mengingat keterbatasan penulis sebagai manusia biasa, kritik dan saran akan sangat membantu untuk mengembangkan kemampuan penulis dalam menyusun hasil penelitian di kemudian hari. Teruslah menebar kebaikan dan tak perlu menunggu jadi baik untuk menebar kebaikan.

Wassalamu'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuuh

Makassar, 21 Oktober 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
INTI SARI.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup.....	4
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 <i>El Niño Southern Oscillation</i> (ENSO).....	5
II.1.1 Definisi ENSO	5
II.1.2 Indikator ENSO.....	6
II.1.3 Kondisi ENSO.....	7
II.1.4 Dampak ENSO.....	10
II.2 Curah Hujan.....	14
II.2.1 Pola Curah Hujan di Indonesia	15
II.3 Surplus dan Defisit Air	17
II.3.1 Kekeringan	18
II.3.2 Banjir.....	19
II.4 Metode Analisis	20
II.4.1 Pencocokan Kurva	20

II.4.2 Anomali Standar.....	24
II.5 Verifikasi Prediksi	25
II.5.1 Korelasi Pearson.....	26
II.5.2 Root Mean Square Error (RMSE).....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
III.1 Alat dan Bahan	29
III.1.1 Alat.....	29
III.1.2 Bahan	29
III.2 Prosedur Penelitian.....	29
III.2.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data.....	29
III.2.2 Tahap Pengolahan Data	30
III.3 Bagan Alir	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
IV.1 Anomali Curah Hujan	33
IV.2 Anomali Curah Hujan Standar	37
IV.3 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan ENSO	42
IV.4 Verifikasi Prediksi.....	47
IV.5 Estimasi anomali curah hujan berdasarkan prediksi ENSO	48
BAB V PENUTUP.....	51
V.1 Kesimpulan.....	51
V.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Variasi Wilayah ENSO (NCEI.NOAA 2022).....	7
Gambar 2.2 Kondisi Normal (Krisnamughni, 2020).	8
Gambar 2.3 (a) Kondisi La Niña, (b) Kondisi El Niño (Krisnamughni, 2020).	9
Gambar 2.4 Dampak El Niño terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia. Segitiga orange berarti adanya pengurangan curah hujan, sedangkan segitiga hijau berarti terjadi penambahan curah hujan. Segitiga dengan pewarnaan yang penuh berarti pengurangan/penambahannya signifikan berdasarkan uji statistik (Supari <i>et al.</i> , 2017).	10
Gambar 2.5 Dampak El Niño kuat pada tahun 1997 terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia (Setiawan <i>et al.</i> , 2020).....	11
Gambar 2.6 Dampak La Niña terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia. Segitiga orange berarti adanya pengurangan curah hujan, sedangkan segitiga hijau berarti terjadi penambahan curah hujan. Segitiga dengan pewarnaan yang penuh berarti pengurangan/penambahannya signifikan berdasarkan uji statistik (Supari <i>et al.</i> , 2017).	12
Gambar 2.7 Dampak La Niña kuat pada tahun 2010 terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia (Setiawan <i>et al.</i> , 2020).....	13
Gambar 2.8 Sebaran Pola Curah Hujan di Indonesia (Widodo, 2018)	16
Gambar 2.9 Grafik Regresi Linier (Pertiwi dan Indrajit, 2017).....	22
Gambar 2.10 Grafik Regresi Polinomial (Putra dan Juarna, 2021).	24
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pencocokan Kurva dan Standar Deviasi	33

Gambar 4.2 Grafik data observasi curah hujan musiman JAS dan hasil pencocokan kurva	34
Gambar 4.3 Grafik data observasi curah hujan musiman ASO dan hasil pencocokan kurva	35
Gambar 4.4 Grafik data observasi curah hujan musiman SON dan hasil pencocokan kurva	35
Gambar 4.5 Grafik data observasi curah hujan musiman OND dan hasil pencocokan kurva	36
Gambar 4.6 Grafik data observasi curah hujan musiman NDJ dan hasil pencocokan kurva	36
Gambar 4. 7 Grafik data observasi curah hujan musiman DJF dan hasil pencocokan kurva	37
Gambar 4.8 Batas kategori anomali curah hujan JAS.....	39
Gambar 4.9 Batas kategori anomali curah hujan ASO	39
Gambar 4.10 Batas kategori anomali curah hujan SON	40
Gambar 4.11 Batas kategori anomali curah hujan OND.....	40
Gambar 4.12 Batas kategori anomali curah hujan NDJ.....	41
Gambar 4.13 Batas kategori anomali curah hujan DJF.....	41
Gambar 4.14 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan indeks ENSO musim JAS	44
Gambar 4.15 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan indeks ENSO musim ASO.....	45

Gambar 4.16 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan indeks ENSO musim SON	45
Gambar 4.17 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan indeks ENSO musim OND	46
Gambar 4.18 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan indeks ENSO musim NDJ	46
Gambar 4. 19 Diagram serak antara anomali curah hujan terstandar dan indeks ENSO musim DJF	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Curah Hujan Menurut BMKG Juanda (Hartantyo 2017)	14
Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat Rawan Banjir Berdasarkan Curah Hujan Bulanan dan Harian Terkait Banjir Menurut BMKG Juanda (Hartantyo 2017)	15
Tabel 2.3 Interpretasi Koefisien Korelasi positif (Wilks 2006)	27
Tabel 2.4 Interpretasi Koefisien Korelasi negatif (Wilks 2006)	27
Tabel 4.1 Prediksi Anomali SST (°C) di Wilayah Nino 3.4 (IRI 2022)	48

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Salah satu unsur cuaca yang berpengaruh dalam kegiatan manusia adalah curah hujan, namun keberadaannya secara temporal dan spasial masih sulit untuk diprediksi dikarenakan sifatnya yang dinamis serta proses fisis yang terlibat juga sangat kompleks. Ketika terjadi anomali iklim berupa *El Niño* dan *La Niña* menyebabkan ketidakpastian hujan semakin besar. Sebagian bencana yang terjadi di Indonesia terkait dengan fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) (Nabilah, Prasetyo dan Sukmono, 2017).

Ropelewski dan Halpert 1987; Philander 1983, menyatakan ENSO merupakan salah satu fenomena gabungan interaksi lautan atmosfer yang terjadi pada wilayah Pasifik tropis yang dapat menyebabkan variasi iklim tahunan di dunia (Sitompul dan Nurjani, 2013). ENSO terdiri dari tiga fasa yaitu *El Niño*, Netral dan *La Niña*. Fasa *El Niño*. Secara sederhana, dampak fasa *El Niño* adalah memicu terjadinya kekeringan di wilayah Indonesia yang menjadi berkah karena dapat meningkatkan produksi garam (Kumala dan Sugiarto, 2012) dan tangkapan ikan (Saputra, Arthana dan Hendrawan, 2017). Namun, datangnya fasa *El Niño* dapat menjadi bencana karena resiko kebakaran hutan meningkat (Anggraini dan Trisakti, 2011), dapat menimbulkan gagal panen (Irawan, 2016). Sedangkan pada fasa *La Niña*, curah hujan akan meningkat sehingga PLTA tidak akan bermasalah memproduksi listrik dikarenakan debit air sungai masih cukup (Abdillah, Syaifullah dan

Sibarani, 2017) namun *La Niña* dapat menjadi sebuah bencana karena dapat menyebabkan terjadinya banjir dan longsor (Safitri, 2015).

Adanya sejumlah dampak positif dan negatif pada kedua fasa ENSO maka untuk mengantisipasi kejadian yang akan datang dengan tepat sejumlah Institusi menyajikan prediksi ENSO untuk beberapa musim ke depan secara rutin di situs *International Research Institute for Climate and Society Columbia University, USA* yang dapat diakses oleh publik. Keakuratan dari prediksi ENSO juga telah dipublikasikan (Halide dan Ridd, 2008; Andika, Halide dan Hasanah, 2017).

Pola curah hujan di Indonesia dibagi menjadi tiga yaitu, pola equatorial, pola lokal dan pola monsun. Dari tiga pola curah hujan akan memberikan reaksi yang berbeda terhadap ENSO (Prasetyo dan Pusparini, 2019). Secara umum, pola curah hujan di Pulau Sulawesi terdiri dari pola monsun, equatorial, dan lokal (Andarini dan Purwaningsih, 2020). Ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan yaitu Makassar, berdasarkan keadaan cuaca dan curah hujan termasuk dalam pola curah hujan monsun (Maulidani, Ihsan dan Sulistiawaty, 2015). Pola monsun dicirikan oleh adanya satu puncak dengan curah hujan tertinggi yang terjadi sekitar bulan Desember-Januari-Februari (DJF) dan satu lembah dengan curah hujan terendah terjadi pada sekitar bulan Juli-Agustus-September (JAS).

Jumlah air pada luasan tertentu di permukaan bumi dipengaruhi oleh besarnya air yang masuk dan keluar pada rentang waktu tertentu. Karena air bersifat dinamis maka nilai neraca air selalu mengalami perubahan dari waktu ke waktu sehingga di tempat tertentu kemungkinan dapat terjadi kekurangan air (defisit) ataupun kelebihan air (surplus) (Rahim, Rogi dan Runtuwu, 2015). Hubungan antara

efek ekstrim ENSO, yaitu *El Niño* dan *La Niña* terhadap kondisi surplus dan defisit curah hujan yang terjadi di Indonesia telah banyak dijumpai pada penelitian sebelumnya (Juaeni *et al.*, 2008; Windari, Faqih dan Hermawan, 2012; Fadholi, 2013; Nabilah, Prasetyo dan Sukmono, 2017; Narulita, 2017; Halide, 2018). Apabila terjadi kelebihan air (surplus) di suatu kawasan tertentu dapat menyebabkan terjadinya banjir dan longsor sehingga dapat merusak fasilitas umum dan kendaraan bahkan dapat menimbulkan korban jiwa (Basri, 2019), curah hujan yang meningkat juga dapat mengganggu operasional penerbangan termasuk terjadinya resiko kecelakaan seperti turbulensi pada saat cuaca buruk serta jarak pandang pilot akan terganggu (Indriatmoko dan Purwanta, 2017). Menurut laporan berita Liputan6.com, pada saat terjadi kekurangan air (defisit) dapat menyebabkan terjadi kekeringan sehingga meningkatkan potensi gagal panen serta kekurangan air bersih.

Berdasarkan hal diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang estimasi anomali curah hujan di musim mendatang yang bertujuan sebagai peringatan dini terjadinya kelebihan atau kekurangan air. Peringatan ini diharapkan memberi waktu yang cukup bagi pengelola air dan penanggung jawab lainnya untuk mengantisipasi kejadian yang tidak diinginkan di masa akan datang.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengelompokkan kategori anomali terstandar untuk curah hujan ke dalam tiga kategori (rendah, sedang dan tinggi) serta persentase kejadian masing-masing kategori anomali?

2. Bagaimana hubungan antara anomali terstandar curah hujan dengan ENSO?
3. Bagaimana mengestimasi besar anomali yang akan terjadi pada curah hujan jika mengetahui nilai prediksi ENSO pada musim mendatang?

I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada mengestimasi surplus dan defisit anomali curah hujan terstandar dengan menggunakan data curah hujan berasal dari Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin dan data ENSO 3.4 selama 70 tahun atau dari periode tahun 1950-2021 pada musim JAS, ASO, SON, OND, NDJ dan DJF. Metode yang digunakan yaitu pencocokan kurva regresi polinomial yang kemudian dinormalisasi dengan menggunakan Anomali Standar.

I.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengelompokkan nilai anomali terstandar untuk curah hujan ke dalam tiga kategori (rendah, sedang dan tinggi) serta persentase kejadian masing-masing kategori anomali.
2. Untuk mengetahui hubungan antara anomali terstandar curah hujan dengan ENSO.
3. Untuk mengestimasi besar anomali curah hujan terstandar jika mengetahui nilai prediksi ENSO pada musim mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *El Niño Southern Oscillation* (ENSO)

II.1.1 Definisi ENSO

Menurut Philander, 1990 *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) merupakan fenomena kejadian penyimpangan suhu permukaan laut (SPL) terhadap normalnya yang terjadi di wilayah Samudera Pasifik Ekuatorial (Syafrizal et al., 2019). Fenomena ENSO melibatkan dua fenomena yang saling berlawanan fase. Fase pemanasan disebut *El Niño* dan fase pendinginan disebut *La Niña*. Dampak fenomena ENSO memberikan pengaruh pada kondisi laut di Indonesia yaitu pada tahun *El Niño* menjadi lebih dingin dan lebih hangat pada saat *La Niña* (Kiraman, 2017). Terdapat bukti yang menunjukkan fenomena *El Niño* identik dengan kekeringan di Indonesia dikarenakan terjadinya penurunan jumlah dan kejadian hujan secara ekstrem. Fenomena ini menyebabkan turunnya produksi pertanian, memicu kebakaran hutan, dan masalah kesehatan. Di sisi lain, fenomena *La Niña* menimbulkan dampak sebaliknya yaitu curah hujan yang meningkat dari normal sehingga terjadi bencana banjir (Pramudia et al., 2013).

Fenomena ENSO secara global dapat mempengaruhi variabilitas iklim di Indonesia (Sitompul dan Nurjani, 2013). Fenomena *El-Nino* dan *La Niña* dapat menyebabkan anomali di beberapa tempat. Indonesia sangat terpengaruh oleh ENSO karena merupakan wilayah dengan pemanasan laut paling parah yang mempengaruhi sirkulasi konvektif. Hal ini menyebabkan tingginya curah hujan di

Indonesia dan merupakan penyebab utama pemanasan atmosfer global (Kahya dan Dracup, 1993).

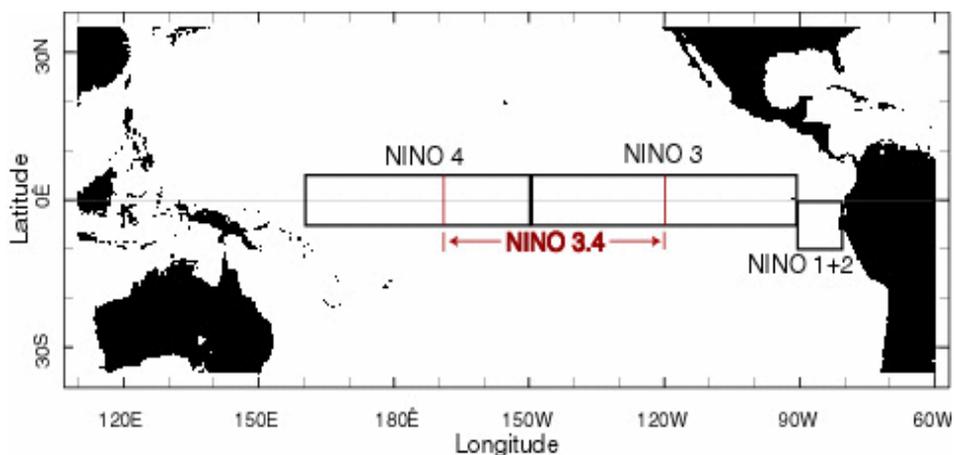
II.1.2 Indikator ENSO

Para ilmuwan memberikan beberapa batasan mengenai *El Niño* dan *La Niña*, semuanya mengacu pada pemanasan atau pendinginan Suhu Permukaan Laut (SPL) di Pasifik ekuator dan perbedaan tekanan udara permukaan laut di Tahiti dan Darwin. Beberapa Indeks yang digunakan untuk mengetahui fenomena ENSO, yaitu (1) SOI (*Southern Oscillation Index*) berdasarkan perbedaan tekanan udara permukaan laut antara Tahiti dan Darwin, (2) ONI (*Oceanic Niño Index*) berdasarkan suhu permukaan laut dari nilai rata-rata selama 3 bulan di wilayah 3.4 (Hidayat *et al.*, 2018). Indeks *Niño* 3.4 dan ONI (*Oceanic Niño Index*) merupakan indeks yang paling umum digunakan untuk menentukan peristiwa *El Niño* dan *La Niña*. Indeks lainnya digunakan untuk membantu mengkarakterisasi sifat alam yang unik dari setiap fenomena (NCAR, 2018).

Dalam memonitor ENSO, salah satu indikator yang digunakan untuk mempresentasikan anomali SPL adalah ONI. ONI didapatkan melalui pengukuran SPL rata-rata dalam 3 bulan pada suatu wilayah di Samudera Pasifik yang dikenal dengan Nino 3.4. Nilai rata-rata 3 bulanan SPL tersebut kemudian dibandingkan dengan normal SPL dengan rentang waktu tertentu (Lindsey, 2009). Kriteria yang ditetapkan untuk kondisi ENSO jika berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut. Berdasarkan klasifikasi anomali SPL, maka *El Niño* dibedakan menjadi 3 yaitu (1) *El-Nino* lemah (*weak Niño*) jika anomali SPL ONI 0,5–1,0°C,

(2) *El-Nino* sedang (*moderate Nino*) jika anomali SPL ONI 1,1–1,5°C, (3) *El-Nino* kuat (*strong Nino*) jika anomali SPL ONI >1,5°C (Pramudia *et al.*, 2013). Fenomena La Niña juga dibedakan menjadi 3 kategori berdasarkan anomali SPL, yaitu (1) La Niña lemah, jika SPL bernilai < -0,5°C (2) La Niña sedang, jika nilai SPL bernilai antara -0,5°C hingga -1°C (3) La Niña kuat, jika nilai SPL > -1°C (Jamili, 2017).

II.1.3 Kondisi ENSO

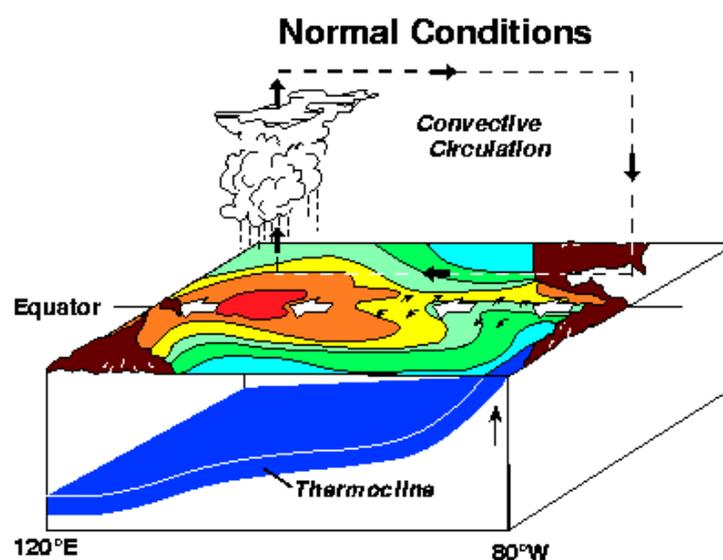


Gambar 2.1 Variasi Wilayah ENSO (NCEI.NOAA 2022)

Untuk kepentingan prediksi hujan di Indonesia menggunakan data SPL pada *Nino* 3.4 (*Oceanic Nino Index*, ONI), yaitu wilayah dengan batas 5°N-5°S, 120-170°W (Pramudia *et al.*, 2013). *Nino* 1+2 dengan batas wilayah 0-10°S, 90°W-80°W merupakan wilayah terkecil dan paling timur yang sesuai dengan wilayah pesisir Amerika Selatan. *Nino* 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), wilayah yang pernah menjadi fokus utama untuk memantau dan prediksi ENSO, namun para peneliti mengetahui bahwa wilayah untuk interaksi laut-atmosfer terletak lebih jauh ke barat. *Nino* 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W), wilayah ini mendeteksi anomali SST di

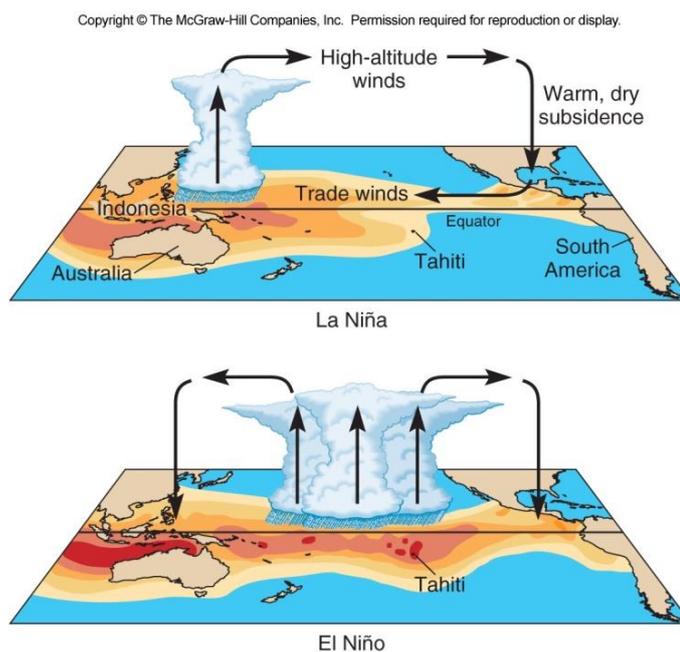
Pasifik khatulistiwa tengah dan cenderung memiliki varian yang lebih sedikit dibanding wilayah *Nino* lainnya (NCAR, 2018). Jika anomali suhu permukaan laut di wilayah Niño positif atau lebih hangat yang melebihi 1°C di atas normal, disebut *El Niño* dan sebaliknya disebut *La Niña* (Aldrian, 2008).

Kondisi normal merupakan masa peralihan dari fase hangat dan dingin ENSO. Pola angin, suhu laut dan curah hujan umumnya dalam kondisi rata-rata (IRI 2022). Pada Gambar 2.2, dalam kondisi normal angin pasat/*trade winds* bertiup dari timur ke barat yang akan melintasi Samudera Pasifik, membawa udara lembab dan air permukaan yang hangat yang menumpuk di lepas pantai Asia, sehingga permukaan laut di Indonesia lebih tinggi dibanding di ekuador Amerika Selatan. Termoklin lebih dalam di barat dibanding di timur (Bureau, 2022). Selama satu tahun normal, termoklin melakukan perpindahan menuju Amerika Selatan dari Asia dikarenakan angin pasat menumpuk air yang lebih hangat di lepas pantai Asia (Krisnamughni, 2020).



Gambar 2.2 Kondisi Normal (Krisnamughni, 2020).

Dalam kondisi El Niño, air yang hangat dapat meluas hingga wilayah Samudra Pasifik tropis bagian tengah yang diikuti dengan melemahnya angin pasat dan di waktu tertentu dapat berbalik arah. Kondisi ini menyebabkan terjadinya pergeseran air laut yang hangat ke timur menuju benua Amerika, air laut yang dingin bergerak naik menggantikan air laut hangat. Akibatnya suhu permukaan laut di Indonesia menjadi lebih dingin sehingga akan lebih sulit untuk menguap. Kondisi El Niño di Indonesia umumnya berdampak pada curah hujan yang berkurang yang berpotensi menimbulkan kekeringan meteorologis (Setiawan *et al.*, 2020).



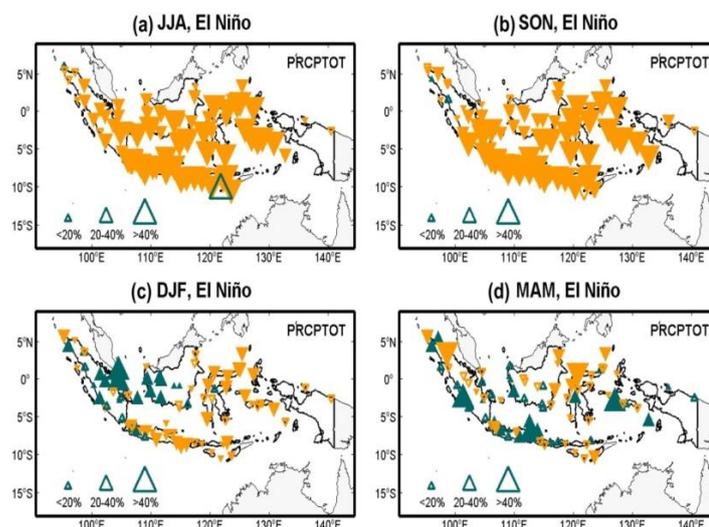
Gambar 2.3 (a) Kondisi La Niña, (b) Kondisi El Niño (Krisnamughni, 2020).

Pada peristiwa La Niña, angin pasat di sepanjang Pasifik tropis lebih kuat dan terjadi peningkatan *upwelling* (naiknya massa air laut yang lebih dingin dari bagian dalam ke permukaan laut) di pantai barat Amerika Selatan dan sepanjang

khatulistiwa (Setiawan *et al.*, 2020). Angin pasat yang menguat menyebabkan air yang hangat di Pasifik barat tropis menghasilkan suhu permukaan laut yang lebih hangat di Australia bagian utara. Suhu permukaan laut di Samudera Pasifik tropis timur dan tengah menjadi lebih hangat dari kondisi normalnya dan termoklin yang bergerak mendekati ke permukaan air yang dingin dari lautan dalam ditarik ke permukaan saat *upwelling* menjadi lebih kuat (Bureau, 2022).

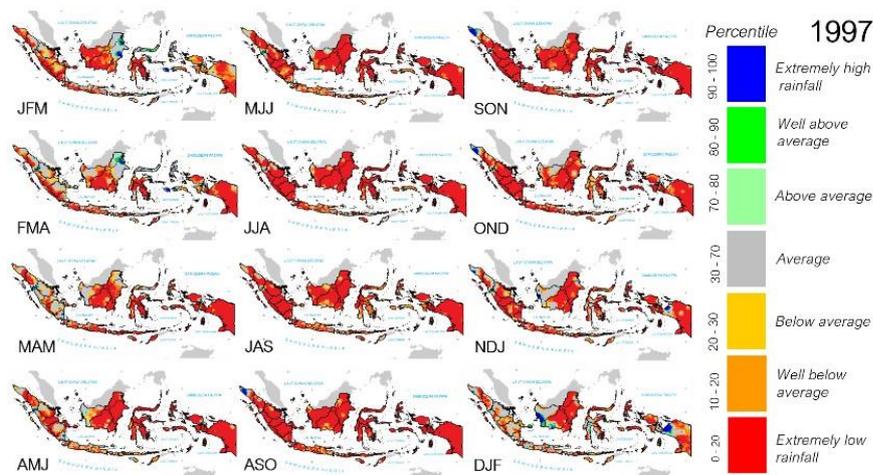
II.1.4 Dampak ENSO

Fenomena El Niño dan La Niña mempengaruhi pola iklim global, termasuk iklim di Indonesia. Kebanyakan lokasi di daerah tropis, El Niño akan menghasilkan variasi iklim yang berlawanan dengan La Niña. Misalnya, sebagian Indonesia dan Australia rawan terhadap kekeringan selama bulan-bulan terjadinya El Niño, sementara itu akan lebih basah dari normalnya saat terjadi La Niña (Setiawan *et al.*, 2020).



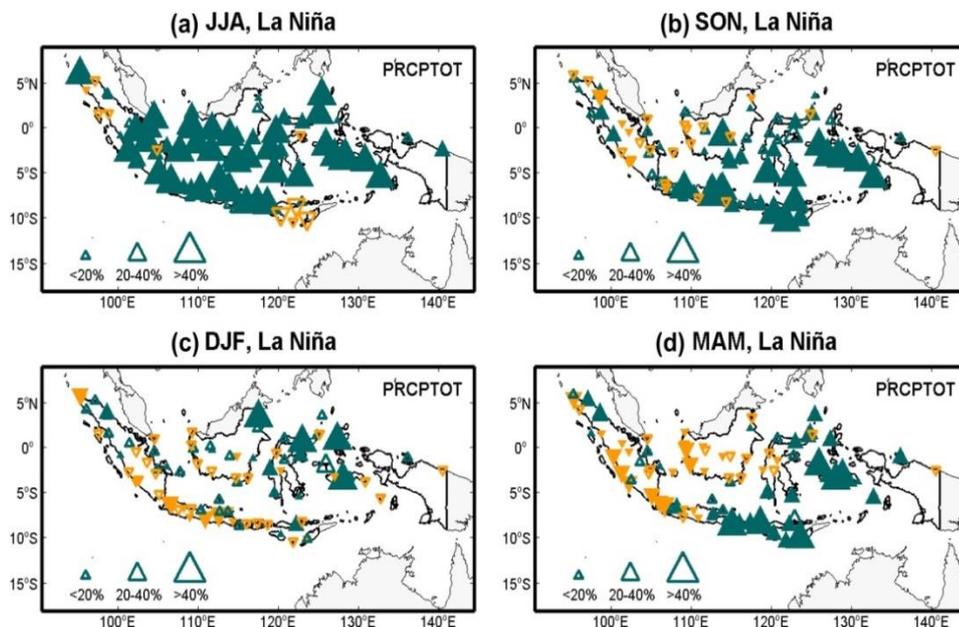
Gambar 2.4 Dampak El Niño terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia. Segitiga orange berarti adanya pengurangan curah hujan, sedangkan segitiga hijau berarti terjadi pertambahan curah hujan. Segitiga dengan pewarnaan yang penuh berarti pengurangan/penambahannya signifikan berdasarkan uji statistik (Supari *et al.*, 2017).

Selama peristiwa El Niño terjadi Indonesia akan mendapatkan dampak seperti terjadinya pengurangan curah hujan. Pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dan September-Oktober-November (SON), El Niño menyebabkan pengurangan curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia. Tingkat keparahan pengurangan curah hujan yang terjadi karena El Niño akan berkurang setelah mencapai fase puncak. Pada periode Desember-Januari-Februari (DJF), wilayah Indonesia bagian timur, termasuk Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi dan Maluku akan terus mengalami kondisi pengurangan curah hujan. Namun di bagian barat, khususnya Sumatera bagian tengah dan Kalimantan Barat dicirikan oleh kondisi penambahan curah hujan. Pada bulan Maret-April-Mei (MAM), kondisi curah hujan yang meningkat meluas ke Jawa Timur dan Kalimantan Barat, namun di Kalimantan Timur, sebagian besar Sulawesi dan Papua mengalami kondisi curah hujan yang berkurang. Curah hujan berkurang selama El Niño biasanya 20-40% lebih besar daripada selama tahun-tahun netral. Namun, di beberapa daerah curah hujan berkurang lebih dari 40%(Gambar 2.4) (Supari *et al.*, 2017).



Gambar 2.5 Dampak El Niño kuat pada tahun 1997 terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia (Setiawan *et al.*, 2020).

Salah satu contoh El Niño kuat terjadi pada tahun 1997. Curah hujan rata-rata tiga bulanan di Indonesia pada umumnya masuk mengalami pengurangan yang sangat drastis dan pada umumnya masuk kategori di bawah rata-ratanya (Gambar 2.5). Beberapa wilayah di Indonesia bahkan mengalami curah hujan yang sangat rendah (*extremely low rainfall*) sepanjang tahun El Niño itu, terutama di wilayah Jawa, Bali hingga Nusa Tenggara, Sulawesi, Papua dan Maluku (Setiawan *et al.*, 2020).

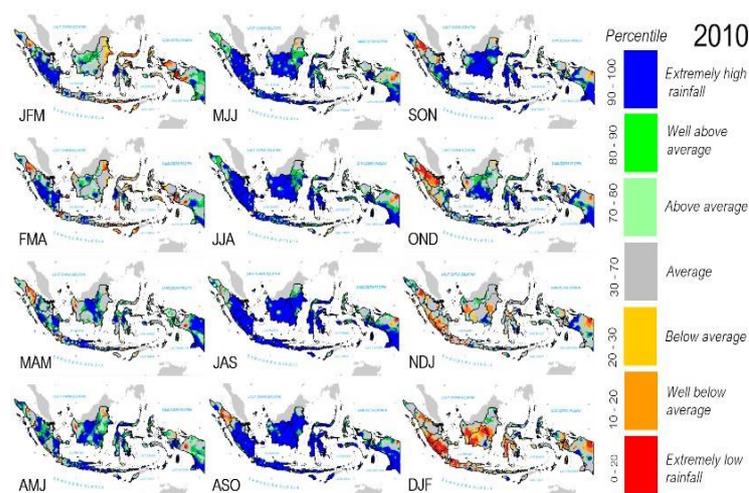


Gambar 2.6 Dampak La Niña terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia. Segitiga orange berarti adanya pengurangan curah hujan, sedangkan segitiga hijau berarti terjadi pertambahan curah hujan. Segitiga dengan pewarnaan yang penuh berarti pengurangan/penambahannya signifikan berdasarkan uji statistik (Supari *et al.*, 2017).

La Niña memberi dampak yang beragam di Indonesia, terutama curah hujan bulanan dan musiman. Selama bulan Juni-Juli-Agustus (JJA), La Niña meningkatkan curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia. La Niña pada

bulan September-Oktober-November (SON) mempengaruhi peningkatan curah hujan di wilayah Indonesia bagian tengah-timur, dan selama bulan Desember-Januari-Februari (DJF) dan Maret-April-Mei (MAM) La Niña meningkatkan curah hujan di Indonesia bagian timur. Curah hujan meningkat selama La Niña biasanya 20-40% lebih besar daripada selama tahun-tahun netral. Namun, di beberapa daerah curah hujan meningkat lebih dari 40% (Gambar 2.6) (Supari *et al.*, 2017).

La Niña kuat dalam sejarah pernah terjadi pada tahun 2010. Pada saat itu, rata-rata curah hujan tiga bulanan di Indonesia secara umum berada di atas rata-rata (Gambar 2.7). Di beberapa wilayah Indonesia khususnya Sumatera Selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku dan sebagian Kalimantan mengalami curah hujan tinggi yang ekstrim tinggi (*extremely high rainfall*), terutama periode Maret-April-Mei (MAM) hingga September-Oktober-November (SON) (Setiawan *et al.*, 2020).



Gambar 2.7 Dampak La Niña kuat pada tahun 2010 terhadap curah hujan tiga bulanan di Indonesia (Setiawan *et al.*, 2020).

II.2 Curah Hujan

Menurut Tjasyono, 2004 hujan merupakan bentuk endapan yang sering dijumpai, di Indonesia maksud endapan adalah curah hujan. Endapan itu sendiri diartikan sebagai bentuk cair dan padat (es) yang jatuh ke permukaan bumi (Fadholi, 2013). Curah hujan merupakan air hujan yang jatuh dari ketinggian tertentu ke permukaan yang datar dengan asumsi bahwa tidak ada yang menguap, meresap dan mengalir. Satuan curah hujan yang digunakan di Indonesia yaitu satuan milimeter (mm). Jika dalam luasan satu meter persegi di atas permukaan datar, air yang tertampung mencapai 1 milimeter atau 1 liter dalam jangka waktu tertentu berarti terjadi curah hujan 1 milimeter (Rahmawati, Rusgiyono dan Wuryandari, 2014; Ramadhan, Sujatmoko dan Rinaldi, 2021). Intensitas curah hujan merupakan jumlah hujan dalam satuan waktu tertentu selama berlangsungnya hujan. Di wilayah tertentu, tingkat kemiringan topografi atau sekitar lereng bukit memiliki intensitas curah hujan yang tinggi (Chandra dan Suprato, 2016).

Tabel 2.1 Kriteria Curah Hujan Menurut BMKG Juanda (Hartantyo, 2017)

Jenis Hujan	Intensitas Hujan (mm)	
	1 Jam	14 Jam
Sangat Ringan	<1	<5
Ringan	1-5	5-20
Normal/Sedang	5-10	20-50
Lebat	10-20	50-100
Sangat Lebat	>20	>100

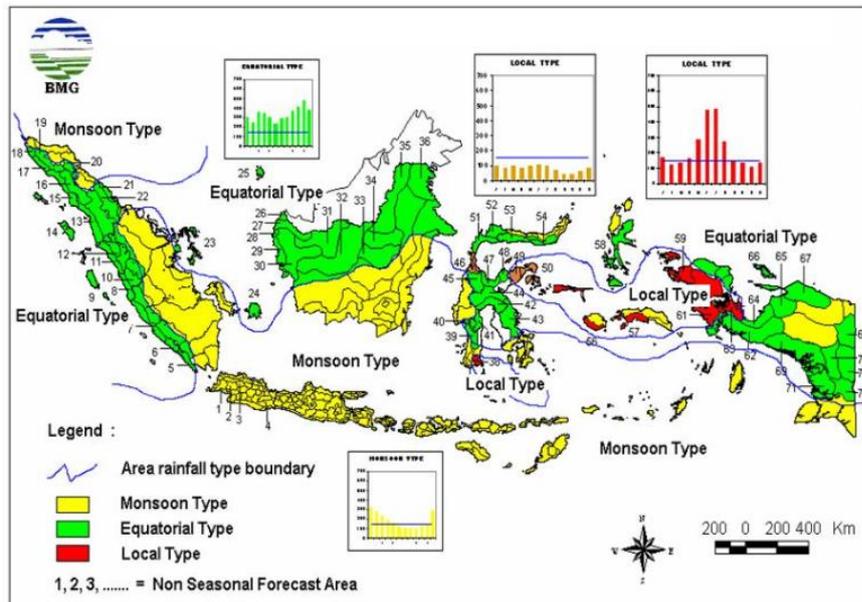
Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat Rawan Banjir Berdasarkan Curah Hujan Bulanan dan Harian Terkait Banjir Menurut BMKG Juanda (Hartantyo, 2017)

Tingkat Rawan	Curah Hujan Bulanan (mm)	Curah Hujan harian (mm)
Tinggi	>500	>100
Menengah	300-500	20-100
Rendah	200-300	10-20

II.2.1 Pola Curah Hujan di Indonesia

Indonesia memiliki tiga pola curah hujan yang tidak ditemukan di manapun di dunia. Pola curah hujannya adalah monsoonal, ekuatorial dan lokal. Pola monsoonal sangat jelas terlihat di beberapa wilayah Indonesia seperti seluruh pulau Jawa hingga Nusa Tenggara, sebagian Sumatera dan Kalimantan Selatan, sebagian Sulawesi, Maluku dan sebagian Papua. Dimana pada bulan Januari curah hujan tinggi kemudian terus menurun selama bulan Juni-Juli-Agustus (JJA), kemudian naik lagi hingga akhir tahun. Hampir dapat dipastikan wilayah Indonesia bagian selatan dan utara mengalami pola hujan monsun.

Pola curah hujan di sekitar khatulistiwa bagian tengah mengalami pola ekuatorial, dimana pada bulan Maret-April-Mei (MAM) dan September-Oktober-November (SON) curah hujannya tinggi. Pola curah hujan lokal merupakan bentuk yang berlawanan dari pola curah hujan monsun dimana curah hujan cukup melimpah sepanjang tahun, sehingga pada bulan JJA curah hujannya tinggi. Pola ini tidak umum di Indonesia, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 di bawah ini (Widodo, 2018).



Gambar 2.8 Sebaran Pola Curah Hujan di Indonesia (Widodo, 2018)

Pola umumnya curah hujan di Indonesia dapat dikatakan bahwa pantai timur di Indonesia memperoleh curah hujan selalu lebih sedikit dari pantai barat. Pulau Sumatera yang merupakan wilayah barat Indonesia mendapatkan curah hujan terbanyak pada bulan November dan Desember. Pulau Jawa, Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat memperoleh curah hujan terbanyak pada bulan Januari-Februari. Di bulan Mei-Juni wilayah yang mendapatkan curah hujan terbanyak yaitu Pulau Sulawesi dan Maluku Tengah. Sedangkan untuk semua pulau di daerah pedalaman, curah hujan terbanyak terjadi di musim pancaroba (Sandy, 1985). Curah hujan di Indonesia rata-rata setiap tahunnya berkisar antara 2.000-3.000 mm. Daerah dengan curah hujan kurang dari 1.000 mm per tahunnya di antaranya wilayah Nusa Tenggara dan Sulawesi di lembah Palu dan Luwuk. Kepulauan Aru, Sumatera bagian Timur, Kalimantan Timur dan Tengah, sebagian Nusa Tenggara, daerah sempit di Merauke, sebagian besar Jawa Barat dan Jawa

Tengah serta sebagian Papua mendapatkan hujan tahunan 1.000-2.000 mm. Daerah yang mendapat curah hujan 2.000-3.000 mm setiap tahunnya meliputi Kepulauan Maluku dan sebagian besar Sulawesi (Tim Dosen Faperta, 2020).

II.3 Surplus dan Defisit Air

Ketersediaan air memegang peranan yang sangat penting dalam ekosistem lingkungan (Simanjuntak *et al.*, 2018). Konsep siklus air lingkungan menunjukkan bahwa air di suatu wilayah tertentu di permukaan bumi dipengaruhi oleh jumlah air masuk (*input*) dan keluar (*output*) pada waktu tertentu (Paski *et al.*, 2017). Karena air bersifat dinamis, nilai neraca air dapat berubah dari waktu ke waktu, dan dapat terjadi kelebihan (surplus) atau kekurangan air (defisit) di suatu tempat. Surplus dan defisit air yang ekstrim tentunya dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan kekeringan, yang dapat dicegah atau diatasi dengan pengelolaan lahan dan lingkungannya yang tepat (Rahim, Rogi dan Runtuuwu, 2015; Paski *et al.*, 2017).

Hillel (1972) mendefinisikan neraca air sebagai perincian dari semua input, emisi, dan perubahan penyimpanan air di suatu negara dan menentukan jumlah air yang tertahan di dalam tanah. Ini mewakili penyerapan air (surplus dan defisit) dari waktu ke waktu. Curah hujan bersama dengan penguapan yang dibantu oleh sifat fisik tanah, dapat memberikan informasi penting tentang jumlah air yang dapat ditangkap, durasi surplus atau defisit air lahan, air yang tidak dapat ditampung, dan waktu terjadinya (Paski *et al.*, 2017). Neraca air dapat diartikan sebagai perbedaan jumlah air yang masuk dan keluar di suatu daerah tertentu selama

periode tertentu. Oleh karena itu, dapat ditentukan ketersediaan air pada suatu daerah mengalami kelebihan (surplus) atau kekurangan (defisit) air (Simanjuntak *et al.*, 2018). Dalam kondisi ekstrim, surplus dan defisit air dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan kekeringan (Rahim, Rogi dan Runtunuwu, 2015; Paski *et al.*, 2017).

II.3.1 Kekeringan

Kekeringan merupakan masalah serius yang sering terjadi pada musim kemarau. Banyak daerah di Indonesia mengalami masalah seperti kekeringan atau kekurangan air atau defisit air (Indarto *et al.*, 2014). Kekeringan secara umum dapat didefinisikan sebagai pengurangan air atau pasokan air selama periode waktu tertentu, jauh di bawah jumlah normal atau yang diharapkan (Rahardjo, 2010).

Kekeringan berkaitan erat dengan berkurangnya curah hujan, suhu di atas rata-rata, kelembaban tanah yang rendah, dan pasokan air permukaan yang tidak memadai. Menurut Wilhite dan Glantz, kekeringan dapat dibagi menjadi empat jenis kekeringan. Yakni, kekeringan meteorologis, kekeringan hidrologis, kekeringan pertanian, kekeringan sosial ekonomi. Kekeringan meteorologis, yaitu nilai evapotranspirasi yang berasosiasi dengan curah hujan musiman yang di bawah dari normal, merupakan faktor yang mengendalikan terjadinya kondisi kekeringan. Dari sudut pandang pertanian, ketika kelembaban tanah berkurang maka dikatakan tanaman mengalami kekurangan air. Dari segi hidrologi, kekeringan ditandai dengan berkurangnya air di sungai, waduk, dan danau (Indarto *et al.*, 2014; Mujtahiddin, 2014).

Secara umum tidak mungkin untuk mengetahui kapan terjadinya suatu kekeringan, tetapi dapat dikatakan bahwa suatu kekeringan terjadi apabila air yang tersedia tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Dampak kerugian dari kejadian kekeringan sangat luas dan nilai ekonomi kerugiannya cukup besar (Indarto *et al.*, 2014). Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya kekeringan, baik global, regional dan lokal. Salah satu faktor yang sering dikaitkan dengan kondisi kekeringan adalah fenomena *El Niño*. Pada saat *El Niño*, curah hujan menurun di beberapa wilayah Indonesia. Karena intensitas curah hujan yang terjadi menurun dan frekuensi yang jarang terjadi, maka kondisi kekeringan dapat menjadi lebih parah (Mujtahiddin, 2014). Dampak akan menurunnya curah hujan terhadap operasional penerbangan berpeluang terjadi kekeringan di waktu tertentu sehingga pihak bandara harus mencari alternatif dalam penyediaan air bersih baik untuk keperluan terminal maupun kebutuhan operasional pesawat (Indriatmoko dan Purwanta, 2017).

II.3.2 Banjir

Banjir merupakan masalah yang sering terjadi di beberapa wilayah Indonesia, terutama di daerah padat penduduk seperti perkotaan (Mujtahiddin, 2014). Dalam satu abad terakhir, banjir merupakan bencana umum di Indonesia, terhitung dari frekuensinya (yang mencatat 108 atau 33,3 dari semua peristiwa bencana besar, yaitu 324 peristiwa) (Hamdani, Permana dan Susetyaningsih, 2014). Banjir dapat terjadi karena naiknya muka air akibat curah hujan di atas rata-rata, perubahan suhu, jebolnya tanggul atau bendungan, pencairan salju yang

cepat, dan terganggunya aliran air di tempat lain (Sebastian, 2008). Penyebab meteorologi terjadinya banjir adalah tingginya curah hujan dan air laut yang pasang sehingga meningkatkan ketinggian air (Soebroto *et al.*, 2015). Namun bukan hanya disebabkan oleh faktor meteorologi, kejadian banjir juga dipengaruhi oleh kondisi geografis dan kegiatan manusia (Rosyidie, 2013).

Bagi dunia penerbangan, curah hujan yang meningkat secara umum dapat menambah resiko terjadinya banjir dan genangan sehingga akan mengganggu *taxiway*, *runway*, *apron* dan akses ke bandara, pembatalan (*cancel flight*) atau penundaan (*delay*) dapat meningkatkan kerugian dari maskapai penerbangan dan pengelola bandar (Indriatmoko dan Purwanta, 2017).

II.4 Metode Analisis

II.4.1 Pencocokan Kurva

Pencocokan kurva (*Curve Fitting*) merupakan suatu metode mencocokkan titik-titik data pada suatu kurva fungsional (Munir, 2007). Pencocokan kurva merupakan salah satu metode untuk mengestimasi garis/kurva yang mewakili sekumpulan titik-titik data (Al-Rusman, Rohaeni dan Kurniati, 2016). Pencocokan kurva tidak hanya digunakan untuk menghitung nilai suatu fungsi tetapi juga untuk menyederhanakan perhitungan numerik lainnya seperti perhitungan nilai integral dan turunan (Munir, 2007). Pencocokan kurva digunakan untuk mencari kurva paling halus (*optimal*) yang paling dekat dengan data, tetapi tidak harus melewati semua titik data (Hernawati, 2012).

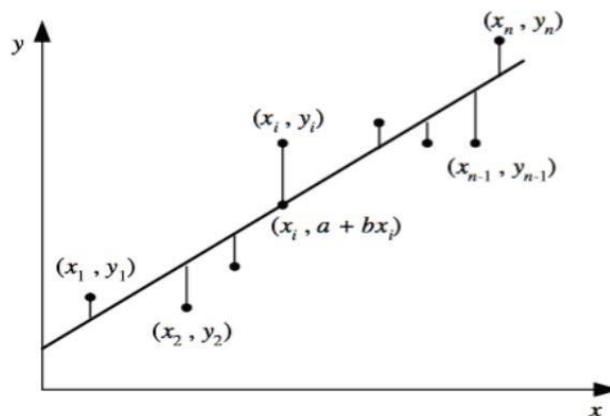
Data pengukuran biasanya mengandung kesalahan atau *error* yang cukup signifikan karena data yang tidak akurat dan kurva yang sesuai dengan titik data tidak harus melewati setiap titik. Strategi yang digunakan adalah dengan menentukan kurva yang mewakili trend dari titik-titik data, artinya kurva mengikuti pola titik-titik sebagai suatu kelompok (Gambar 2.2). Kurva dibuat sedemikian rupa sehingga perbedaan antara titik data dan titik perkiraannya pada kurva sekecil mungkin. Metode pencocokan kurva ini disebut regresi kuadrat terkecil. Kesalahan yang terjadi dapat disebabkan oleh kesalahan pengukuran, ketidakakuratan alat ukur yang digunakan, atau jenis sistem yang diukur (Munir, 2007).

II.4.1.1 Regresi Linier

Istilah “regresi” pertama kali dicetuskan oleh seorang ahli bernama Francis Galton. Analisis regresi berkaitan dengan dua variabel atau lebih yaitu variabel terikat dan variabel bebas. Variabel terikat adalah variabel yang nilai-nilainya bergantung pada variabel lainnya, variabel ini merupakan variabel yang diramalkan atau diestimasi. Sedangkan variabel bebas adalah variabel yang nilai-nilainya tidak bergantung pada variabel lainnya yang digunakan untuk meramalkan atau mengestimasi nilai dari variabel lainnya (Pertwi dan Indrajit, 2017).

Regresi adalah teknik pencocokan kurva untuk data dengan akurasi rendah. Contoh data dengan akurasi rendah ialah data hasil observasi, data statistik, atau

eksperimen laboratorium. Data ini disebut data pengukuran. Kesalahan data dapat berasal dari ketidaktepatan alat ukur yang digunakan, kesalahan pembacaan alat (paralaks), atau dari pengoperasian sistem yang diukur. Dalam regresi, pencocokan kurva dilakukan dengan membuat fungsi yang mendekati titik data (Pertiwi dan Indrajit, 2017).



Gambar 2.9 Grafik Regresi Linier (Pertiwi dan Indrajit, 2017).

Regresi linier merupakan metode yang digunakan untuk membentuk suatu model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Jika banyaknya variabel bebas hanya satu maka disebut regresi linier sederhana, namun jika variabel bebas lebih dari satu maka disebut regresi linier berganda (Putra dan Juarna, 2021). Pada Gambar 2.9, simbol bulat hitam adalah data hasil pengukuran, garis hitam yang menyerong merupakan garis regresi linier. Garis regresi linier memiliki persamaan yaitu (Munir 2007) :

$$Y = a + bx \quad (2.1)$$

Dimana :

Y = Variabel terikat

X = Variatbel bebas

a = Intercept

b = Slope/Kemiringan

II.4.1.2 Regresi Polinomial

Regresi polinomial adalah model regresi linier yang dibentuk dengan menghitung jumlah selisih setiap variabel x meningkat dengan orde-k. Sebenarnya, regresi polinomial merupakan pembaruan dari model regresi linier berganda (Pertiwi dan Indrajit, 2017). Regresi polinomial adalah model regresi linier yang terbentuk dengan menjumlahkan pengaruh variabel bebas yang dipangkatkan hingga orde ke- n (Putra dan Juarna, 2021). Secara umum, model regresi polinomial ditulis sebagai berikut (Malensang, Komalig dan Hatidja, 2012) :

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k + \varepsilon \quad (2.2)$$

Dimana :

y = Variabel terikat

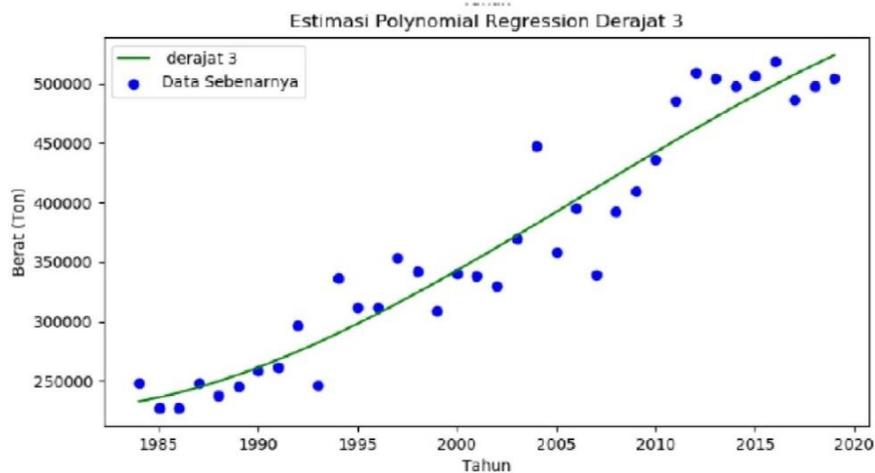
b_0 = Intercept

b_1, b_2, \dots, b_k = Koefisien-koefisien prediktor

x = Variabel bebas

ε = galat

Dalam regresi polinomial, perlu dilakukan penentuan derajat regresi polinomial yang berguna untuk mendapatkan model yang baik untuk diprediksi. Perlu dicatat bahwa regresi polinomial memiliki kelemahan, terutama dalam pemilihan derajat. Jika derajatnya rendah, maka kesalahannya (galat) akan besar. Namun, jika derajat yang dipilih tinggi, maka galatnya akan kecil atau bahkan tidak ada galatnya.



Gambar 2.10 Grafik Regresi Polinomial (Putra dan Juarna, 2021).

Menurut David Longstreet, yang harus dicapai dalam regresi polinomial bungkalah menghilangkan galat tetapi membangun model sederhana yang dapat digunakan untuk memahami dan membuat prediksi. Semakin tinggi derajat polinomial, semakin kompleks model yang dihasilkan. Semakin kompleks suatu model yang dihasilkan, tidak berarti model tersebut baik untuk digunakan untuk prediksi dan pemahaman. Karena nilai galat yang kecil hanya untuk data yang digunakan untuk membuat model. Jika menggunakan model pada data yang lain, kemungkinan besar model tersebut kurang baik karena memiliki galat yang besar (Pertiwi dan Indrajit, 2017).

II.4.2 Anomali Standar

Perhitungan anomali standar digunakan untuk menghilangkan pengaruh lokasi dan distribusi kumpulan data (Prasetyo, Irwandi dan Pusparini, 2018). Anomali standar, Y_A dihitung dengan mengurangkan rata-rata sampel dari data mentah Y , dan membaginya dengan standar deviasi sampel yang sesuai:

$$Y_A = \frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_y} = \frac{Y'}{\sigma_y} \quad (2.3)$$

Dalam ilmu atmosfer, anomali Y' dipahami sebagai pengurangan dari nilai rata-rata yang relevan seperti pada pembilang Persamaan 2.3. Anomali standar dalam Persamaan 2.3 dihasilkan dengan membagi data anomali dengan standar deviasi yang sesuai. Transformasi ini kadang-kadang disebut sebagai normalisasi (Wilks, 2006).

II.5 Verifikasi Prediksi

Verifikasi adalah proses menilai kualitas suatu ramalan. Proses ini telah dikembangkan sepenuhnya dalam ilmu atmosfer, tetapi juga dikembangkan secara paralel di bidang lain. Proses penilaian kualitas ramalan disebut sebagai evaluasi atau validasi dari ramalan (Wilks, 2006). Menurut *World Meteorological Organization* (WMO), verifikasi membantu memastikan bahwa prediksi mempunyai keakuratan, keandalan, dan keunggulan. Penilaian kualitas prediksi ini melibatkan distribusi data prediksi dan data observasi dan hubungan antara keduanya. Idealnya, hubungan antara data yang diamati dan yang diprediksi memiliki nilai yang cukup kuat, yang biasanya dapat dilihat dari sebaran data yang diamati dan diprediksi (LPPM Institut Teknologi Bandung, 2017).

Verifikasi prediksi biasanya dilakukan untuk memantau prakiraan secara operasional. Pemantauan ini dilakukan dengan memantau nilai trend model prediksi selama periode operasional survei. Analisis verifikasi statistik juga

berguna untuk mengukur kualitas hasil ramalan dan mendeteksi umpan balik dari data prediksi ke data observasi dan menilai serta mengevaluasi kurangnya prediksi secara statistik. Hal ini diharapkan kinerja prediksi di masa depan menghasilkan prakiraan kualitas yang lebih baik (LPPM Institut Teknologi Bandung, 2017).

Menurut Ramage, 1993 verifikasi prediksi tidak hanya bermanfaat bila prediksi benar, tetapi juga dapat membantu memahami cara meningkatkan prediksi dengan menggunakan prediksi yang salah (Pattipeilohy, Amalia dan Rakhim, 2021). Ada tiga alasan utama dilakukan verifikasi. Pertama, untuk memantau (monitor) keakuratan prediksi dan melihat apakah prediksi semakin lama akan semakin membaik.. Kedua, meningkatkan (*improve*) kualitas prediksi. Bisa mulai dengan melihat kesalahan seperti apa yang terjadi dalam prediksi. Ketiga, membandingkan (*compare*) hasil prediksi beberapa model ketika memprediksi besaran/fenomena yang sama. Dari hasil perbandingan tersebut, ditemukan model yang lebih unggul dari model lainnya dan temukan lokasi/alasan dominasi model tersebut (Halide 2009).

II.5.1 Korelasi Pearson

Korelasi Pearson adalah korelasi sederhana yang hanya berisi satu variabel terikat (*dependent*) dan satu variabel bebas (*independent*). Koefisien Pearson menghasilkan koefisien korelasi yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan antara dua variabel tidak linier, koefisien korelasi Pearson tidak mencerminkan kekuatan hubungan dua variabel yang diteliti, bahkan jika kedua variabel memiliki hubungan yang kuat.

Simbol korelasi Pearson adalah “r”(Safitri 2016). Koefisien korelasi dinyatakan dalam (Halide, 2009) :

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \quad (2.4)$$

Dengan :

R = Koefisien korelasi Pearson antara data prediksi dan data observasi

n = Banyak sampel

x_i = Variabel bebas

y_i = Variabel terikat

Tabel 2.3 Interpretasi Koefisien Korelasi positif (Wilks, 2006)

No	Nilai r	Interpretasi
1	0	Tidak ada korelasi
2	0,01 – 0,20	Sangat lemah
3	0,21 – 0,40	Lemah
4	0,41 – 0,60	Agak lemah
5	0,61 – 0,80	Cukup Kuat
6	0,81 – 0,99	Kuat
7	1	Sempurna

Tabel 2.4 Interpretasi Koefisien Korelasi negatif (Wilks, 2006)

No	Nilai r	Interpretasi
1	0	Tidak ada korelasi
2	-0,01 – -0,20	Sangat lemah
3	-0,21 – -0,40	Lemah
4	-0,41 – -0,60	Agak lemah
5	-0,61 – -0,80	Cukup Kuat
6	-0,81 – -0,99	Kuat
7	-1	Sempurna

Koefisien korelasi merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui derajat hubungan antar variabel. Nilai koefisien korelasi antara $-1 < 0 < 1$. Jika $r = 1$ korelasi positif sempurna yang berarti tingkat signifikansi pengaruh variabel X terhadap variabel Y sangat kuat, apabila $r = -1$ adalah korelasi negatif sempurna, ini berarti tingkat signifikansi pengaruh variabel X terhadap variabel Y sangat lemah. Jika koefisien korelasi menunjukkan nilai 0, maka tidak ada hubungan antara kedua variabel yang diteliti. Jika hubungan kedua variabel tersebut linier sempurna, maka sebaran datanya membentuk garis lurus. Namun pada kenyataannya akan sulit menemukan data yang dapat membentuk garis lurus sempurna (Safitri 2016).

II.5.2 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) adalah perbandingan yang digunakan untuk membandingkan nilai yang diperoleh dari analisis menggunakan tujuh metode dengan nilai sebenarnya yang diamati di lokasi penelitian yang dimodelkan (Suhartanto, Limantara dan Tamaya, 2020). *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan prediksi. Semakin kecil nilai RMSE, semakin akurat hasil prediksinya (Suprayogi, Trimajon dan Mahyudin, 2014). Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan (Halide, 2009) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i Y_i)^2}{n}} \quad (2.5)$$

Dengan :

n = Jumlah data

X_i = Variabel Bebas

Y_i = Variabel Terikat