

## KAJIAN PENGARUH PERUBAHAN IKLIM DAN ENSO (*EL NIÑO–SOUTHERN OSCILLATION*) TERHADAP CURAH HUJAN EKSTREM DI PULAU SUMBAWA

Ivana Candra Amalia<sup>1</sup>, Heri Sulistiyono<sup>2</sup>, Humairo Saidah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

**Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Mataram**

### INTISARI

Perubahan iklim di wilayah Indonesia salah satunya di Pulau Sumbawa menyebabkan perubahan peluang kejadian hujan ekstrem baik ekstrem basah maupun kering. Suatu daerah yang mengalami hujan ekstrem basah bisa mendatangkan kerugian seperti di wilayah yang berada disekitar lereng berbukit bisa berpotensi terjadi longsor, kejadian gagal panen, hanyutnya rumah-rumah. Sedangkan kejadian ekstrem kering bisa mengakibatkan kekeringan, kebakaran hutan dan lain sebagainya.

Studi ini menggunakan metode korelasi dan regresi. Metode korelasi ini digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh variabel perubahan iklim dan ENSO terhadap curah hujan bulanan di Pulau Sumbawa, sedangkan metode regresi digunakan untuk mengetahui hubungan variabel perubahan iklim dan ENSO terhadap curah hujan. Hubungan yang didapatkan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antar variabel, sedangkan untuk analisis hujan ekstremnya ditentukan dengan mencari nilai ambang batas atas dan batas bawah.

Perubahan iklim berpengaruh terhadap kejadian Curah Hujan Ekstrem di Pulau Sumbawa. Prediksi rata-rata kejadian ekstrem basah sebesar 118,11% dan ekstrem kering 72,12% pada tahun 2008-2100, ini menunjukkan bahwa kejadian ekstrem basah semakin sering terjadi sedangkan ekstrem kering kejadiannya semakin berkurang pada beberapa stasiun. Sedangkan hubungan ENSO tidak signifikan berpengaruh terhadap curah hujan ekstrem dengan angka korelasi rata-rata seluruh stasiun 0,10.

**Kata kunci :** Perubahan Iklim, ENSO, Regresi Linier, Hujan Ekstrem.

### I. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Dewasa ini perubahan iklim dan pemanasan global tengah menjadi perbincangan hangat di kalangan dunia internasional. Tidak hanya Negara maju yang terkena dampak pemanasan global namun dirasakan juga oleh negara-negara yang sedang berkembang.

Iklim di Indonesia tidak selamanya berjalan normal setiap tahunnya, ada suatu saat terjadi penurunan curah hujan sehingga mengalami kekeringan dan pada saat yang lain curah hujan meningkat sehingga terjadi banjir. Salah satu penyebab perubahan curah hujan di Indonesia, termasuk di sebagian besar belahan dunia adalah *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO).

*El Nino* adalah istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan munculnya arus air laut yang panas dari waktu ke waktu di kawasan Laut Pasifik di bagian Timur Equator sampai Pantai Peru dan Ekuador. Istilah *La Nina* merujuk kepada munculnya arus laut dingin (lebih dingin dari kondisi rata-rata) di bagian tengah dan Timur Equator Laut Pasifik (kebalikan dari *El-Nino*) (Effendy, 2010 dalam Kusumo,2015).

Pulau Sumbawa merupakan salah satu pulau yang terletak di provinsi Nusa Tenggara Barat, Indonesia. Pulau Sumbawa merupakan salah

satu pulau beriklim monsun yang memiliki mayoritas penduduk bermata pencaharian sebagai petani, pekebun dan peternak. Gangguan iklim di pulau Sumbawa ditandai oleh terjadinya kemarau panjang, musim hujan yang tidak menentu, jangka waktu musim hujan relatif singkat, dan kenaikan intensitas dan frekuensi curah hujan ekstrem.

Dampak perubahan cuaca dan iklim ekstrem merupakan permasalahan yang paling serius bagi kehidupan masyarakat di dunia (WMO, 2009 dalam Kusumo, 2015). Berbagai masalah timbul akibat iklim dan cuaca ekstrem mulai dari wabah penyakit, gangguan kesehatan, ombak tinggi, sampai petani yang gagal panen dan kerawanan sosial lainnya.

Tingginya curah hujan di wilayah Indonesia menyebabkan wilayah ini rentan terhadap bencana banjir. Bagi suatu daerah yang mengalami hujan ekstrem benar-benar merugikan apalagi di wilayah yang berada disekitar lereng bukit yang berpotensi untuk menyebabkan terjadinya bencana longsor, selain mendatangkan korban jiwa cuaca ekstrem dapat merugikan perekonomian akibat gagalnya panen, hanyutnya rumah-rumah akibat banjir dan lain sebagainya.

Sehingga peneliti, merasa perlu melakukan penelitian tentang “Kajian Pengaruh Perubahan Iklim dan ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) terhadap Curah Hujan Ekstrim di Pulau Sumbawa.

#### B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana hubungan antara variabel perubahan iklim dan ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) terhadap curah hujan bulanan di Pulau Sumbawa?
2. Bagaimana model matematik dari hubungan antara variabel perubahan iklim dan ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) terhadap curah hujan bulanan di Pulau Sumbawa?
3. Bagaimana pengaruh perubahan iklim dan ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) terhadap curah hujan ekstrim di Pulau Sumbawa?

#### C. Tujuan Penelitian

1. Dapat mengetahui hubungan antara variabel perubahan iklim dan ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) terhadap curah hujan bulanan di Pulau Sumbawa.
2. Dapat mengetahui model matematik dari hubungan antara variabel perubahan iklim dan ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) terhadap curah hujan bulanan di Pulau Sumbawa.
3. Dapat mengetahui pengaruh dari perubahan iklim dan ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) terhadap curah hujan ekstrim di Pulau Sumbawa.

#### D. Manfaat Penelitian

1. Sebagai peringatan dini dari dampak negatif yang ditimbulkan oleh cuaca dan iklim ekstrim seperti kejadian banjir dan kekeringan.
2. Sebagai informasi bagi para petani sehingga bisa terhindar dari kerugian gagal panen akibat adanya curah hujan ekstrim basah yang mengakibatkan banjir dan ekstrim kering yang mengakibatkan kekeringan.
3. Sebagai informasi untuk menyelenggarakan kegiatan atau usaha dibidang teknik, ekonomi dan sosial yang sesuai dengan ciri dan sifat dari curah hujan ekstrim sehingga dapat dihindari kerugian yang diakibatkannya.

#### E. Batasan Masalah

1. Data perubahan iklim didapatkan dari situs (<https://cera-www.dkrz.de>).
2. Data SOI (*Southern Oscillation Index*) didapatkan dari situ (<http://www.bom.gov.au/>).
3. Analisa dilakukan dengan bantuan program *Microsoft Excel 2007* dan *Minitab v.16*.

## II. DASAR TEORI

### A. Tinjauan Pustaka

Surmaini dan Susanti (2008), melakukan penelitian “*Indikator Iklim Global dan Pengaruhnya Terhadap Kejadian Iklim Ekstrim di Indonesia*”, dari penelitian tersebut diketahui bahwa indikator iklim global yang paling berpengaruh terhadap hujan di Indonesia adalah suhu muka laut (*Sea Surface Temperature*) dan pengaruhnya hanya signifikan pada musim transisi bulan Agustus-November, sehingga SST bulan Mei-Juni dapat digunakan untuk memprediksi hujan pada periode musim transisi (Agustus-November).

Fitria dan Pratama (2013), melakukan penelitian berjudul “*Pengaruh Fenomena El Nino 1997 dan La Nina 1999 terhadap Curah Hujan di Biak*”, dari penelitian tersebut diketahui hasil analisa menunjukkan bahwa curah hujan di Biak secara umum mengalami penurunan pada tahun 1997 dan mengalami peningkatan pada tahun 1999. Hasil analisa perbandingan variasi anomali curah hujan dengan variasi Indeks Nino dan SOI tahun 1997 dan tahun 1999 menunjukkan peran Osilasi Selatan lebih dominan pada saat El Nino maupun pada saat La Nina. Hasil analisa korelasi Indeks Nino dan SOI menunjukkan peran El Nino/La Nina dan Osilasi Selatan cukup kecil dibandingkan peran faktor lokal.

Putri (2017), melakukan penelitian “*Pengaruh El Nino-Southern Oscillation (ENSO) terhadap Curah Hujan Musiman, Curah Hujan Bulanan dan Curah Hujan Ekstrim di Pulau Lombok*”, dari penelitian tersebut diketahui hasil analisa nilai korelasi antara curah hujan bulanan di 15 stasiun yang mewakili Pulau Lombok dengan SOI memiliki pengaruh yang rendah dengan rata-rata 0,22, sedangkan pengaruh SOI terhadap curah hujan musiman lebih kuat pada bulan JJA dan SON yang menandakan ENSO lebih kuat atau lebih berpengaruh pada musim kemarau di Pulau Lombok, dan rata-rata korelasi antara curah hujan ekstrim dengan SOI adalah 0,23 yang menandakan SOI berpengaruh lemah terhadap curah hujan ekstrim.

Adiatma (2018), melakukan penelitian “*Kajian Pengaruh Perubahan Iklim dan ENSO (El Nino Southern Oscillation) Terhadap Curah Hujan Ekstrim di Pulau Lombok*”, dari penelitian tersebut diketahui bahwa variabel perubahan iklim yang paling berpengaruh di Pulau Lombok adalah *Surface Temperature* dengan korelasi 0,589 sedangkan hubungan ENSO dan curah hujan bulannya tidak signifikan berpengaruh dengan nilai korelasi 0,220. Prediksi kejadian ekstrim basah sebesar 392,840% dan ekstrim kering 13,284%, ini menunjukkan bahwa kejadian ekstrim basah semakin sering terjadi sedangkan ekstrim kering kejadiannya semakin berkurang. Sedangkan hubungan ENSO tidak signifikan

berpengaruh terhadap curah hujan ekstrim dengan angka korelasi 0,273.

## B. Landasan Teori

### 1) Hujan

Presipitasi atau hujan adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi yang biasa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur, tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Triadmodjo, 2008).

### 2) Perubahan Iklim

Iklim merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan keadaan cuaca pada kawasan tertentu dalam jangka waktu relatif panjang. Iklim direpresentasikan dengan nilai rata-rata elemen atau variabel iklim, terutama temperatur dan presipitasi.

Iklim akan berbeda dari suatu lokasi/daerah ke lain lokasi/daerah. Perbedaan cuaca dan iklim disebabkan oleh pengendali cuaca dan iklim yaitu (a) altitude (ketinggian tempat), (b) latitude (lintang), (c) penyebaran daratan dan perairan, (d) daerah-daerah tekanan tinggi dan rendah, (e) arus-arus laut, (f) gangguan-gangguan atmosfer, (g) satu atau lebih unsur cuaca dan iklim.

Dari hasil kajian para ilmuwan yang tergabung dalam *Inter-governmental Panel on Climate Change* (IPCC), disimpulkan bahwa berubahnya iklim semakin sering terjadi dalam 150 tahun terakhir ternyata bukan hanya karena proses alamiah saja, melainkan karena pengaruh kegiatan atau intervensi manusia.

Karena itu, perubahan iklim diartikan sebagai berubahnya iklim di bumi yang langsung ataupun tidak langsung, diakibatkan oleh aktivitas manusia. Kegiatan tersebut menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global, selain juga terjadi variabilitas iklim alamiah yang teramati dalam kurun waktu yang panjang.

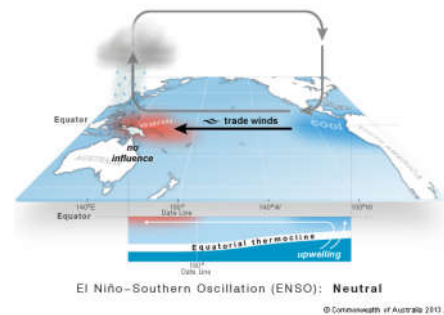
### 3) ENSO (*El Nino-Souther Oscillation*)

Berkaitan dengan posisinya, wilayah Indonesia dipengaruhi oleh sirkulasi monsun yang berbalik arah dua kali dalam setahun. Sirkulasi monsun ini menyebabkan adanya musim hujan yang terjadi pada periode monsun Asia (Oktober-April) dan musim kemarau periode monsun Australia (Mei-September).

Menurut Tjasyono (2008), "meskipun monsun terjadi secara periodik, tetapi awal musim hujan dan musim kemarau tidak selalu sama sepanjang tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa musim di Indonesia tidak hanya

dipengaruhi oleh faktor lain yang berinteraksi dengan monsun untuk membentuk musim di Indonesia". Salah satu faktor yang penting ini adalah *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) merupakan fenomena global di kawasan laut pasifik, yaitu memanas atau mendinginnya suhu permukaan laut jauh di atas atau di bawah kondisi normal (nilai rata-rata) yang menyebabkan anomali iklim global. Komponen lautan dari ENSO adalah El Nino dan La Nina, sedangkan komponen atmosfernya adalah *Southern Oscillation* (Trenberth, 1997 dalam Sitompul dan Nurjani, 2012).

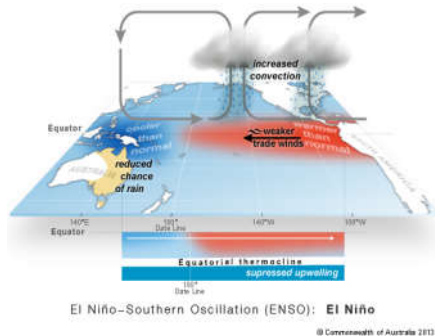
Pada Kondisi normal (**Gambar 1**), suhu muka laut di perairan Indonesia cukup hangat, sehingga mengakibatkan naiknya massa udara. Sirkulasi umum yang terjadi adalah adanya angin pasat timur yang bergerak menuju wilayah Indonesia, dimana massa udara dari Pasifik



**Gambar 1** Sirkulasi Timur Barat pada Kondisi Normal (Sumber: [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))

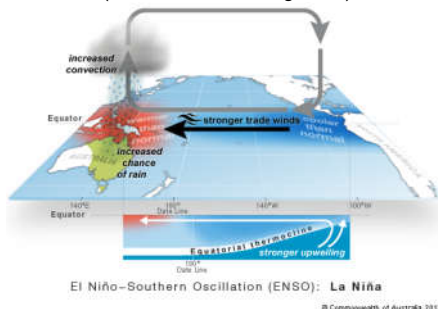
Pada kondisi El Nino, suhu muka laut di Pasifik Ekuator Timur menjadi lebih panas daripada kondisi normalnya (**Gambar 2**). Hal ini mengakibatkan konveksi banyak terjadi di daerah tersebut dan menyebabkan curah hujan meningkat. El nino memainkan peran sangat besar terhadap kekeringan di daerah tropis

Pada saat kondisi La Nina, suhu muka laut di Pasifik Ekuator Timur lebih rendah daripada kondisi normalnya (**Gambar 3**). Sedangkan suhu muka laut di wilayah Indonesia menjadi lebih hangat. Sehingga fenomena La Nina sering mengakibatkan curah hujan jauh di atas normal yang bisa menimbulkan banjir dan tanah longsor bahkan sering diikuti angin kencang.



**Gambar 2** Sirkulasi Timur Barat pada Kondisi El Nino

(Sumber: [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))



**Gambar 3** Sirkulasi Timur Barat pada Kondisi La Nina

(Sumber: [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))

Karena keterkaitan laut-atmosfer yang sangat erat antara keduanya, sehingga kedua gejala tersebut dikenal dengan istilah ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). ENSO adalah contoh yang sangat jelas dari interaksi laut dan atmosfer yang merupakan dua aspek dalam satu. Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi terjadinya El Nino, antara lain (Hartato,2009):

a. Anomali Suhu Permukaan Laut

Ketika terjadi El Nino, suhu permukaan laut di Samudra Pasifik ekuator bagian tengah dari timur memanas, yakni suhu berada di atas normal. Sebaliknya, suhu permukaan laut di Samudra Pasifik ekuator bagian barat atau disekitar wilayah perairan Indonesia menjadi lebih dingin dari biasanya, yaitu suhu berada di bawah normal. Keadaan inilah yang menjadi salah satu parameter yang mengindikasikan terjadinya El Nino. Kondisi sebaliknya mengindikasikan terjadinya La Nina.

b. *Southern Oscillation Index* (SOI)

El Nino juga memiliki intensitas yang dikategorikan menurut besarnya penyimpangan suhu muka air laut yang menyebabkan perubahan tekanan udara di atas nilai rata-ratanya. Perubahan tekanan udara tersebut dapat dibaca dengan *South Oscillation Index* (SOI). Nilai *South Oscillation Index* (SOI) yang digunakan untuk kepentingan analisis klimatologi

berskala bulanan, sebab nilai SOI dengan skala harian atau mingguan dapat dipengaruhi oleh pola-pola cuaca harian.

Berikut ini adalah tingkatan intensitas El Nino dan La Nina (Salmawati, 2010 dalam Ilmi, 2016) :

- 1) El Nino dikatakan lemah, apabila nilai SOI -5 sampai dengan 0 dan berlangsung minimal 3 bulan berturut-turut.
- 2) El Nino dikatakan sedang, apabila nilai SOI -10 sampai dengan -5 dan berlangsung minimal 3 bulan berturut-turut.
- 3) El Nino dikatakan kuat, apabila nilai SOI lebih besar dari -10 dan berlangsung minimal 3 bulan berturut-turut.
- 4) La Nina dikatakan lemah, apabila nilai SOI +5 sampai dengan +10 dan berlangsung minimal 3 bulan berturut-turut.
- 5) La Nina dikatakan kuat, apabila nilai SOI lebih besar dari +10 dan berlangsung minimal 3 bulan berturut-turut.

**4) *Global Circulation Model* (GCM)**

*Global Circulation Model* (GCM) adalah suatu alat penting dalam studi keragaman iklim dan peubah iklim (Zorrita dan Storch,1999 dalam Wigena,2006). GCM merupakan alat yang sangat penting untuk mempelajari perubahan iklim dan membuat peramalan iklim pada masa yang akan datang. Menurut IPCC (2013), *General Circulation Model* (GCM) merupakan data model numerik yang menggambarkan proses fisik atmosfer, lautan, kriosfir dan permukaan daratan sebagai alat paling terdepan dalam mensimulasi pengaruh sistem iklim global terhadap peningkatan gas rumah kaca akibat perubahan iklim.

Secara umum, ada dua pendekatan yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan GCM menjadi informasi skala lokal yaitu *Dynamical Downscaling* dan *Statistical Downscaling*. *Statistical Downscaling* (SD) merupakan suatu teknik yang menggunakan model statistika untuk melihat hubungan antara suatu data yang berskala besar dengan data yang berskala lokal. Pada SD pola hubungan antara kedua peubah dapat diasumsikan linier atau non-linier.

**5) *Statistical Downscaling* (SD)**

*Statistical Downscaling* (SD) merupakan suatu teknik yang menggunakan model statistika untuk melihat hubungan antara suatu data yang berskala besar dengan data yang berskala lokal.

Model SD juga akan memberikan hasil yang baik jika ketiga syarat berikut terpenuhi, yaitu (1) Hubungan erat antara respon dengan prediktor yang menjelaskan keragaman iklim lokal dengan baik; (2) Peubah prediktor disimulasi baik oleh GCM, dan (3) Hubungan antara respon dengan prediktor tidak berubah dengan perubahan waktu

dan tetap sama meskipun ada perubahan iklim (Busuioc et al. 2001 dalam Adiatma, 2018).

Selama ini ada berbagai teknik untuk pemodelan SD, antara lain analisis regresi linier berganda dan analisis regresi komponen utama (Huth & Kysely et al 2000 dalam Wigena, 2006), analisa korelasi kanonik (Landman & Tenmant, 2000 dalam Wigena, 2006), analisis regresi berstruktur pohon (*Tree Structure Regression-TSR*) (Li & Sailor, 2000 dalam Wigena, 2006), dan lain-lain.

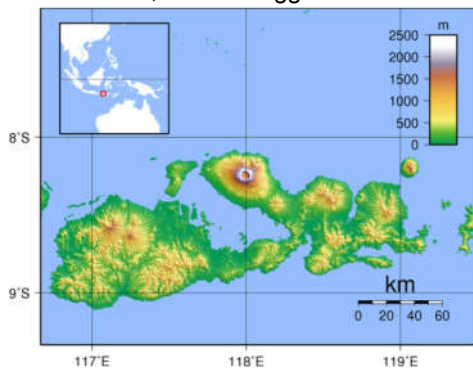
### 6) Cuaca Ekstrim di Indonesia

Penyebab terjadinya kejadian cuaca ekstrim di Indonesia bisa diakibatkan oleh berbagai faktor seperti faktor global, regional maupun lokal. Faktor global diantaranya adalah saat munculnya aktivitas EL Nino dan La Nina yang ditenggarai oleh perubahan *Southern Oscillation Index* (SOI), perubahan suhu muka laut secara signifikan, *Index Ocean Dipole* (IOD) atau Dipole Mode, aktifnya Madden Jullian Oscillation (MJO) dan adanya kenaikan atau penurunan secara drastic dari indeks Cold Surge. Sedangkan beberapa faktor lokal seperti topografi setempat, elevasi, labilitas atmosfer dan konvektif lokal ternyata cukup berperan pula saat terbentuknya cuaca ekstrim.

## III. METODE PENELITIAN

### A. Lokasi Studi

Lokasi penelitian kajian perubahan iklim dan ENSO terhadap curah hujan ekstrim dilakukan di Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat



**Gambar 4** Peta Pulau Sumbawa

(Sumber: Wikipedia)

### B. Pengumpulan Data

Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain :

- Data Curah Hujan

**Tabel 2** Daftar Pos Stasiun Hujan di Pulau Sumbawa

No	Nama Pos Stasiun Hujan	Koordinat		Periode Pemodelan	Periode validasi model
		Lintang	Bujur		
1	Alas	-8.620	116.990	1978-2000	2001-2007
2	Batu Lanteh	-8.680	117.200	1978-2000	2001-2007
3	Belu	-8.660	118.730	1978-2000	2001-2007
4	Bima	-8.440	118.740	1978-2000	2001-2007
5	Bolo	-8.530	118.580	1978-2000	2001-2007
6	Diperta Bima	-8.530	118.790	1978-2000	2001-2007
7	Diperta Sumbawa	-8.500	118.500	1978-2000	2001-2007
8	Donggo	-8.380	118.590	1978-2000	2001-2007
9	Empang	-8.750	118.020	1978-2000	2001-2007
10	Jereweh	-8.980	116.900	1978-2000	2001-2007
11	Kampo	-8.780	116.064	1978-2000	2001-2007
12	Lape	-8.620	117.590	1978-2000	2001-2007
13	Lenanguar	-8.780	116.064	1978-2000	2001-2007
14	Lunyuk	-8.900	117.150	1978-2000	2001-2007
15	Monta	-8.660	118.660	1978-2000	2001-2007
16	Piampang	-8.780	116.064	1978-2000	2001-2007
17	Rasanae	-8.495	118.788	1978-2000	2001-2007
18	Sape	-8.575	118.993	1978-2000	2001-2007
19	Stamet Sumbawa	-8.520	117.410	1978-2000	2001-2007
20	Seteluk	-8.650	116.880	1978-2000	2001-2007
21	Sumbawa	-8.420	116.420	1978-2000	2001-2007
22	Taliwang	-8.780	116.930	1978-2000	2001-2007
23	Uhan	-8.480	117.100	1978-2000	2001-2007
24	Wawa	-8.580	118.790	1978-2000	2001-2007
25	Wera	-8.348	118.917	1978-2000	2001-2007
26	Woha	-8.580	118.660	1978-2000	2001-2007

(Sumber: BMKG)

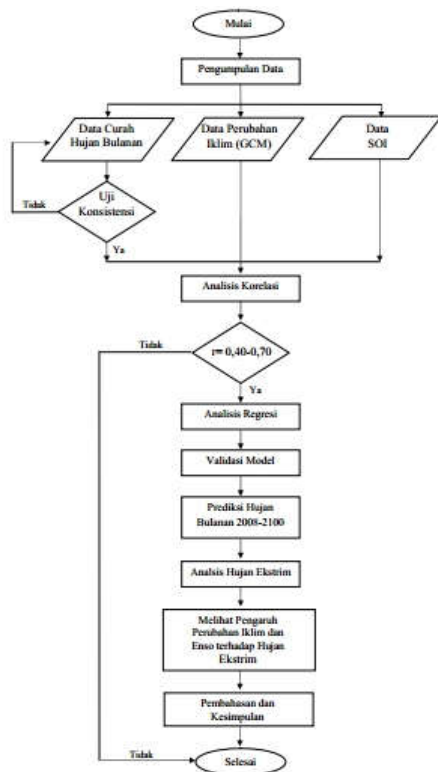
- Data Perubahan Iklim

Adapun data-data perubahan iklim yang digunakan diantaranya :

- Air Temperature (output variable name: ta, unit: Kelvin).
- Relative Humidity (output variable name: hur, unit: %).
- Near-Surface Wind Speed (output variable name: sfcWind, unit: m.s-1).
- Eastward Wind (output variable name: ua, unit: m.s-1).
- Specific humidity (output variable name: hus, unit: 1).
- Evaporation (output variable name: evspsbl, unit: kg.m-2.s-1).
- Sea Level Pressure (output variable name: psl, unit: Pascal).
- Cloud Area Fraction (output variable name: clt, unit: %).
- Leaf Area Index (output variable name: lai, unit: 1).
- Soil Moisture Content (output variable name: mrso, unit: kg.m-2).
- Temperature of Soil (output variable name: tsl, unit: Kelvin).
- Surface Air Pressure (output variable name: ps, unit: Pascal).
- Surface Temperature (output variable name: ts, unit: Kelvin)

- Data Indeks Osilasi Selatan/ Southern Oscillation Index (SOI)

**C. Bagan Alir Studi**



**Gambar 5 Bagan Alir Studi (flowchart)**

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**A. Uji Konsistensi Data Hujan**

Pada tahun 1978 curah hujan di stasiun penakar hujan Alas adalah 1.220 mm. Banyak tahun adalah 30 tahun dan jumlah curah hujan pada stasiun penakar hujan Alas sebesar 32,22 mm.

- 1) Mengurutkan data hujan tahunan dari tahun 1978 - 2007 (Kolom 3)
- 2) Nilai rata-rata keseluruhan hujan ( $\bar{Y}$ ) =  $\frac{32,222}{30} = 1074,07$  mm.
- 3) Kolom (4) = kolom (3) – Rerata ( $\bar{Y}$ )  
Contoh untuk kolom 4 baris pertama =  $1220 - 1074,067 = 145,93$  mm.
- 4) Menghitung  $Sk^*$ , kolom (5) = Kolom (4) baris pertama = 145,93 mm
- 5) Kolom (5) baris kedua = Kolom (5) baris pertama + kolom (4) baris kedua.  
Kolom (5) baris kedua =  $145,93 + 352,93 = 498,87$  mm.
- 6) Kolom (5) baris ketiga = Kolom (5) baris kedua + kolom (4) baris ketiga.  
Kolom (5) baris ketiga =  $498,87 + (-420,07) = 78,80$  mm.

7) Menghitung Nilai  $Dy^2$  kolom (6) =  $\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N}$  persamaan (2.4)

$$\text{Kolom (6)} = \frac{(145.930)^2}{30} = 709,88 \text{ mm}^2.$$

8) Menghitung nilai  $Dy = \sqrt{\sum \text{kolom}(6)} = \sqrt{87.202,06} = 295,30$  mm.

9) Menghitung  $Sk^{**}$ , kolom (7) =  $\frac{Sk^*}{Dy}$

$$\frac{\text{Kolom}(5)}{Dy} = \frac{145,930}{295,30} = 0,49 \text{ mm,}$$

persamaan (2.3).

10)  $|Sk^{**}|$ , kolom (8) = nilai mutlak dari kolom (7) = 0,49 mm.

11)  $Q = |Sk^{**\text{maks}}|$ , kolom (8) = 5,03 mm, persamaan (2.5).

12)  $R = Sk^{**\text{maks}} - Sk^{**\text{min}}$ , (kolom 7) =  $5,03 - (-0,03) = 5,06$  mm, persamaan (2.5).

13) Syarat :  $Q/\sqrt{n}$  terhitung <  $Q/\sqrt{n}$  kritis  
atau  $R/\sqrt{n}$  terhitung <  $R/\sqrt{n}$  kritis

14) Dicoba dengan derajat kepercayaan 5%, dengan konsistensi 95%,

$$Q/\sqrt{n} \text{ terhitung} < Q/\sqrt{n} \text{ kritis} = 0,92 < 1,24 \text{ (Konsisten)}$$

$$R/\sqrt{n} \text{ terhitung} < R/\sqrt{n} \text{ kritis} = 0,92 < 1,50 \text{ (Konsisten)}$$

**Table 3** Perhitungan Uji Konsistensi Stasiun Alas dengan derajat kepercayaan 5% Periode (1978-2007)

NO	TAHUN	Yi (mm)	Yi-Y	sk*	Dy <sup>2</sup>	sk**	sk**
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1978	1.220	145,93	145,93	709,88	0,49	0,49
2	1979	1.427	352,93	498,87	4152,06	1,69	1,69
3	1980	654	-420,07	78,80	5881,87	0,27	0,27
4	1981	1.710	635,93	714,73	13488,37	2,42	2,42
5	1982	482	-992,07	122,67	11684,76	0,42	0,42
6	1983	1.296	221,93	344,60	1641,81	1,17	1,17
7	1984	1.365	290,93	635,53	2821,41	2,15	2,15
8	1985	846	-228,07	407,47	1733,81	1,38	1,38
9	1986	1.127	52,93	460,40	93,40	1,56	1,56
10	1987	913	-161,07	299,33	364,75	1,01	1,01
11	1988	1.207	222,93	522,37	1656,64	1,77	1,77
12	1989	1.128	53,93	576,20	96,86	1,95	1,95
13	1990	1.301	226,93	803,13	1716,62	2,72	2,72
14	1991	1.332	257,93	1061,07	2217,65	3,59	3,59
15	1992	1.498	423,93	1485,00	5990,65	5,03	5,03
16	1993	768	-306,07	1178,93	3122,56	3,99	3,99
17	1994	953	-121,07	1057,87	488,57	3,58	3,58
18	1995	718	-356,07	701,80	4226,12	2,38	2,38
19	1996	1.369	294,93	996,72	2899,52	3,38	3,38
20	1997	531	-543,07	453,67	9830,71	1,54	1,54
21	1998	1.181	106,93	560,60	381,16	1,90	1,90
22	1999	1.396	321,93	882,53	3454,70	2,99	2,99
23	2000	929	-145,07	737,47	701,48	2,50	2,50
24	2001	950	-124,07	613,40	513,08	2,08	2,08
25	2002	1.018	-56,07	557,33	104,78	1,89	1,89
26	2003	1.099	24,93	582,27	20,72	1,97	1,97
27	2004	716	-358,07	224,20	4273,72	0,76	0,76
28	2005	840	-234,07	-9,87	1826,24	-0,03	0,03
29	2006	1.175	100,93	91,07	339,58	0,31	0,31
30	2007	983	-91,07	0,00	276,44	0,00	0,00
Jumlah		32.222,00			87.202,06		
Rata-rata		1.074,07			295,30		
n				30			
sk**min				-6,03			
sk**max				5,03			
Qy= sk** max				5,03			
Ry=sk**max-sk**min				5,06			
Syarat :							
Q/n terhitung =		0,92	<	1,24	Q/n tabel 95%	KONSISTEN	
R/n terhitung =		0,92	<	1,50	R/n tabel 95%	KONSISTEN	

Tabel 4 Rekapitulasi Uji Konsistensi 26 Stasiun Hujan Di Pulau Sumbawa

Table with 10 columns: No, Nama Pos Stasiun Hujan, Q/√n hitung, Q/√n kritis, Keterangan, R/√n hitung, R/√n kritis, Keterangan, Periode. Lists 26 stations with their respective consistency test results.

(Sumber: Perhitungan)

Dari hasil analisis konsistensi menggunakan metode RAPS diperoleh data rekapitulasi pada Tabel 4 dimana pada tabel tersebut stasiun Sape dan Stasiun Wera mempunyai data yang tidak konsisten untuk derajat kepercayaan 5% karena nilai Q/√n hitung dan R/√n hitung lebih besar dibandingkan Q/√n kritis dan R/√n kritis.

B. Analisis Korelasi

Untuk menghitung angka korelasi digunakan bantuan software Microsoft Excel 2007, adapun formula yang digunakan adalah =CORREL(array1, array2) dengan array1 adalah curah hujan bulanan (mm) atau SOI dan array 2 adalah variabel perubahan iklim.

Tabel 5 Rekapitulasi Angka Korelasi Curah Hujan dengan Variabel Perubahan Iklim dan SOI di Semua Stasiun

Table with 10 columns: No, Stasiun, Eastward Wind, Air Temp, Relative Humidity, Specific Humidity, Water Evaporation, Sea Level, Cloud Area Index, Soil Moisture, Surface Air Pressure, Surface Air Temp, Wind Speed, SOI Temp, SOI Temp, SOI Temp, SOI Temp, SOI. Lists 26 stations with their correlation coefficients.

(Sumber: Perhitungan)

Tabel 6 Rekapitulasi Angka Korelasi Southern Oscillation Index (SOI) dengan Variabel Perubahan Iklim di Pulau Sumbawa

Table with 10 columns: No, Stasiun, Eastward Wind, Air Temp, Relative Humidity, Specific Humidity, Water Evaporation, Sea Level, Cloud Area Index, Soil Moisture, Surface Air Pressure, Surface Air Temp, Wind Speed, SOI Temp, SOI Temp, SOI Temp, SOI Temp, SOI. Lists 26 stations with their correlation coefficients.

(Sumber: Perhitungan)

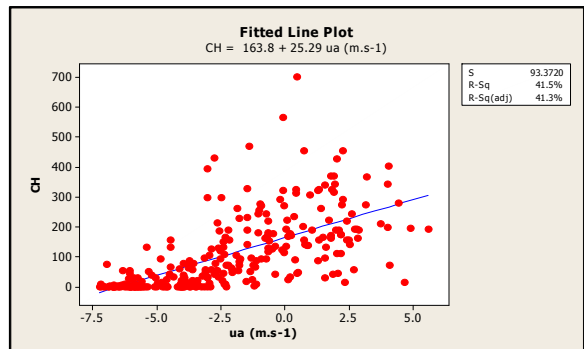
Dari hasil rekapitulasi Tabel 5 dan Tabel 6 didapatkan variabel iklim yang paling berpengaruh terhadap curah hujan di Pulau Sumbawa adalah Eastward Wind dengan nilai korelasi 0,71, sedangkan hubungan ENSO dengan curah hujan bulannya tidak signifikan berpengaruh dengan nilai korelasi 0,20 (korelasi rendah).

C. Analisis Regresi

Berikut hasil analisis curah hujan bulanan (mm) stasiun Alas dengan variabel Eastward Wind (m.s-1) menggunakan bantuan Minitabv. 16:

The regression equation is CH = 163.8 + 25.29 ua (m.s-1) S = 93.3720 R-Sq = 41.5% R-Sq(adj) = 41.3%

Analysis of Variance table with columns: Source, DF, SS, MS. Rows: Regression, Error, Total.



Gambar 6 Regresi Curah Hujan vs Eastward Wind (m.s-1) Sta. Alas (Sumber: Minitab V. 16)

Dari hasil analisis *Minitab* didapatkan persamaan regresi linier sederhana antara curah hujan vs Eastward Wind stasiun Alas adalah  $CH = 163.8 + 25.29 \text{ ua (m.s-1)}$  serta nilai  $R^2$  (determinasi) sebesar 41,5%, untuk variabel perubahan iklim yang berpengaruh lainnya dianalisis dengan cara yang sama.

Kemudian dianalisis dengan regresi linier berganda untuk seluruh variabel yang memiliki nilai korelasi antara 0,40 – 0,70 dengan bantuan *Minitab* sebagai berikut:

**Regression Analysis: CH versus ua (m.s-1), hus,**

...  
The regression equation is  
 $CH = 4332 + 9.87 \text{ ua (m.s-1)} + 13382 \text{ hus} - 7.06 \text{ psl (pascal)} - 101 \text{ lai} + 7.01 \text{ ps (pascal)} + 16.6 \text{ ts (Kelvin)} + 5.4 \text{ sfcWind (m.s-1)} + 4.2 \text{ tsl (Kelvin)}$

Predictor	Coef	SE Coef	T
Constant	4332	10605	0.41
ua (m.s-1)	9.865	3.568	2.76
hus	13382	6068	2.21
psl (pascal)	-7.060	3.246	-2.18
lai	-101.23	38.63	-2.62
ps (pascal)	7.015	3.286	2.13
ts (Kelvin)	16.65	21.44	0.78
sfcWind (m.s-1)	5.42	10.74	0.50
tsl (Kelvin)	4.18	12.15	0.34

S = 86.4177 R-Sq = 51.2% R-Sq(adj) = 49.7%  
PRESS = 2133141 R-Sq(pred) = 47.77%  
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS
Regression	8	2090438	261305
Residual Error	267	1993960	7468
Total	275	4084398	

Kemudian dilakukan uji multikolinearitas, merupakan kondisi terdapatnya hubungan linier atau korelasi yang tinggi antara masing-masing variabel independen (variabel bebas) dalam model regresi.

Dari perhitungan tersebut di atas terdapat multikolinearitas pada variabel *Surface Temperature* (ps, K) dengan nilai VIF jika menggunakan besaran  $\alpha$  (p-value) 5% maka nilai  $VIF = 5 < VIF \text{ hitung} = 9455.817$  (nilai terbesar

dari hasil analisis) maka dikatakan terjadi multikolinieritas. Sehingga variabel *Surface Temperature* (ps, K) dieliminasi, kemudian dilanjutkan lagi dengan variabel yang terpilih, contohnya pada kasus ini ada 8 variabel karena variabel *Surface Temperature* mengalami multikolinearitas maka dianalisis 7 variabel perubahan iklim lainnya sampai menemukan sesuai dengan persyaratan yaitu VIF hitung  $< VIF \text{ syarat} = 5$ . Didapatkanlah analisis variabel yang sesuai dengan syarat tersebut terhadap curah hujan bulanan di Stasiun Alas sebagai berikut :

**Regression Analysis: CH versus ua (m.s-1), hus, psl (pascal), lai**

Regression Equation

$CH = 15703 + 9.53238 \text{ ua (m.s-1)} + 18021.9 \text{ hus} - 0.153581 \text{ psl (pascal)} - 130.522 \text{ lai}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T
Constant	15703.0	5948.71	2.63974
ua (m.s-1)	9.5	3.23	2.95020
hus	18021.9	4732.53	3.80808
psl (pascal)	-0.2	0.06	-2.61135
lai	-130.5	23.46	-5.56434

Summary of Model

S = 86.6581 R-Sq = 50.17% R-Sq(adj) = 49.44%  
PRESS = 2113175 R-Sq(pred) = 48.26%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS
Regression	4	2049289	2049289
ua (m.s-1)	1	1695577	65362
hus	1	76060	108901
psl (pascal)	1	45140	51209
lai	1	232512	232512
Error	271	2035109	2035109
Total	275	4084398	



Dari hasil regresi linear berganda yang telah dilakukan maka didapatkan ada 5 variabel bebas (*Eastward Wind, Specific Humidity, Sea Level Preassure, Leaf Area Index*) yang memiliki nilai VIF (3.685, 1.387, 3.068, 1.448) < 5 untuk stasiun Alas. Sehingga, variabel tersebut dapat digunakan untuk menyusun persamaan regresi berganda karena tidak adanya multikolinearitas. Hasil dari analisis regresi curah hujan dengan variabel iklim tahun 1978-2000 (periode pemodelan) pada stasiun alas dapat dilihat pada **Tabel 7**

**Tabel 7** Rekapitulasi Analisis Regresi Hubungan Curah Hujan Stasiun Alas dengan Variabel Perubahan Iklim

No	Variabel Perubahan Iklim	Units	Periode Pemodelan	Periode Validasi	Persamaan Regresi
1	Eastward Wind	m.s-1	1978-2000	2001-2007	CH = 163.8 + 25.29 ua (m.s-1)
2	Specific Humidity	1	1978-2000	2001-2007	CH = 536.6 + 99809 hua
3	Sea Level Pressure	pascal	1978-2000	2001-2007	CH = 47444 - 0.4685 pdt (pascal)
4	Leaf Area Index	1	1978-2000	2001-2007	CH = 741.6 - 331.3 lat
5	Surface Air Pressure	pascal	1978-2000	2001-2007	CH = 47479 - 0.4729 pa (pascal)
6	Surface Temperature	Kelvin	1978-2000	2001-2007	CH = 22025 + 73.19 ts (Kelvin)
7	Near Surface Wind Speed	m.s-1	1978-2000	2001-2007	CH = 351.9 - 54.26 sfcWind (m.s-1)
8	Soil Temperature	Kelvin	1978-2000	2001-2007	CH = 136209 + 53.97 tsd (Kelvin)
9	Kombinasi 1,2,3,4		1978-2000	2001-2007	CH = 15703 + 9.5328 ua (m.s-1) + 18021.9 hua - 0.153381 pdt (pascal) - 130.522 lat

(Sumber:Perhitungan)

**D. Validasi Model**

a) *Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP)*

Semakin kecil nilai RMSEP maka menunjukkan bahwa perbedaan antara nilai dugaan dengan hasil pemodelan dengan data aktualnya semakin kecil pula. Sebagai contoh hasil analisis regresi pada Stasiun Alas untuk variabel *Eastward Wind* dengan curah hujan bulannya dengan periode validasi 2001-2007 (7 tahun) :

- 1) Data Observasi ( $Y_i$ ) (kolom 4).
- 2) Data Prediksi ( $\hat{Y}_i$ ) (kolom 5) didapatkan dari hasil persamaan analisis regresi antara curah hujan bulanan Stasiun Alas dengan variabel perubahan iklim *Eastward Wind*,  $CH = 163,8 + 25,29 ua$  (m.s-1).  
 $CH = 163,8 + 25,29 \times (3,54) = 253,34 \text{ mm}$
- 3) Kolom (6) = kolom (4) – kolom (5) =  $220-253,34 = -33,34 \text{ mm}$ .
- 4) Kolom (7) = kolom (6) dikuadratkan  $(-33,34)^2 = 1.111,34 \text{ mm}^2$
- 5)  $RMSEP = \sqrt{\frac{563.231,25}{84}} = 81,88 \text{ mm}$

**Tabel 8** Analisis RMSEP Variabel *Eastward Wind* di Stasiun Alas

No	Tahun	Bulan	Data Observasi (mm)	Data Prediksi (mm)	(4-5)	6 <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	2001	Jan-01	220	253,34	-33,34	1.111,34
2		Feb-01	144	240,37	-96,37	9.287,33
3		Mar-01	38	1.421,0	-841,0	7.073,53
4		Apr-01	288	1.527	-19,03	18.265,79
5		Mei-01	3	1.409,6	-1409,6	19.869,46
6		Jun-01	16	53,29	-37,23	1.386,23
7		Jul-01	57	9,53	47,42	2.248,51
8		Aug-01	7	44,46	-37,46	1.403,77
9		Sep-01	0	18,40	-18,40	338,56
10		Oct-01	39	78,25	-44,23	1.957,91
11		Nov-01	128	82,39	45,77	2.085,29
12		Dec-01	108	1.21,16	-131,6	179,12
13	2002	Jan-02	231	176,21	54,94	3.018,26
14		Feb-02	198	207,22	-9,22	85,09
15		Mar-02	9	2.118,4	-12,08	14.602,52
16		Apr-02	341	86,92	25,08	64.355,75
17		Mei-02	133	29,04	103,96	10.824,90
18		Jun-02	0	0,00	0,00	0,00
19		Jul-02	9	0,00	0,00	81,00
20		Aug-02	0	16,34	-16,34	269,78
21		Sep-02	0	39,78	-39,73	1.578,07
22		Oct-02	0	1.133,4	-11,38	12.820,65
23		Nov-02	76	1.32,70	-56,70	3.211,23
24		Dec-02	214	1.843,1	29,69	881,38
25	2003	Jan-03	31	2.282,4	-24,53	21.180,74
26		Feb-03	201	176,61	24,39	594,98
27		Mar-03	283	237,31	-54,37	799,47
28		Apr-03	7	1.540,7	-81,07	6.572,63
29		Mei-03	0	38,34	-38,34	1.468,38
30		Jun-03	13	32,58	-19,53	383,32
31		Jul-03	12	3,33	9,67	93,47
32		Aug-03	9	18,32	-9,32	86,90
33		Sep-03	0	38,31	-38,31	1.466,34
34		Oct-03	77	87,42	-10,42	108,66
35		Nov-03	9	194,10	-151,0	227,37
36		Dec-03	136	1.63,16	-37,16	791,69
37	2004	Jan-04	26	241,83	-175,83	30911,31
38		Feb-04	153	239,23	-86,23	7.411,33
39		Mar-04	497	1.83,57	27,43	77.825,13
40		Apr-04	189	2.482,1	-99,1	3.517,17
41		Mei-04	39	1.294,2	-11,94	18.191,88
42		Jun-04	36	15,77	202,3	409,42
43		Jul-04	0	0,00	0,00	0,00
44		Aug-04	7	46,12	-42,12	1.773,95
45		Sep-04	0	37,35	-37,35	1.402,90
46		Oct-04	0	77,99	-77,99	6.063,77
47		Nov-04	12	101,43	-29,43	866,21
48		Dec-04	219	1.250,1	93,99	3.333,77
Jumlah			7936,00	8087,17	-1076,17	563231,25
n			84			
RMSEP			81,88			

(Sumber: Perhitungan)

b) *Koefisien Determinasi*

Koefisien determinasi sebagai salah satu kriteria kebaikan model lainnya, koefisien determinasi merupakan kuadrat dari koefisien korelasi ( $r^2$ ) dikali seratus. Adapun koefisien determinasi didapatkan dari hasil analisis regresi dengan bantuan *Minitab* pada langkah sebelumnya, adapun koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk curah hujan bulanan Stasiun Alas dengan variabel *Eastward Wind* adalah 41,5%.

c) *Nash Sutcliffe Efficiency (NSE)*

Model dikatakan handal atau akurat jika nilai errornya kecil serta korelasinya tinggi, selain itu digunakan NSE untuk melihat keerratan hubungan antara data observasi dengan data simulasi (model). Diambil model dengan nilai NSE yang mendekati 1.

Adapun langkah-langkah perhitungannya :

- 1) Data Observasi di urutkan dari (2001-2007).
- 2) Kolom (5) = hasil persamaan regresi dengan *Minitab* (CH (mm) =  $CH = 163.8 + 25.29 ua$  (m.s-1)) kemudian

dimasukkan nilai variabelnya (*Eastward Wind*).

Catatan : apabila nilai atau hasil dari persamaan bernilai negatif maka nilai tersebut menjadi nol karena hujan tidak mungkin bernilai negatif.

- 3) Kolom (6) = kolom (4) – kolom (5) = 220-253,34 = -33,34 mm
- 4) Kolom (7) = kolom (6)<sup>2</sup> = (-33,34)<sup>2</sup> = 1.111,34 mm<sup>2</sup>
- 5) Kolom (8) = data observasi ( $Y_i^{obs}$ ) (4) – rerata data observasi ( $Y_i^{mean}$ ) = 220-94,48 = 125,52 mm
- 6) Kolom (9) = kolom (8)<sup>2</sup> = (125,52)<sup>2</sup> = 15.756,23 mm<sup>2</sup>
- 7) NSE = 1 – (jumlah kolom 7/jumlah kolom 9) = 1-(563.231,25/995.330,95) = 0,43

**Tabel 9 Analisis NSE Data Observasi Vs Data Prediksi Stasiun Alas**

No	Tahun	Bulan	Data Observasi	Data Prediksi	(4-5)	(6) <sup>2</sup>	(4-Rerata Data Observasi)	(8) <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2001	Jan-01	220	253,34	-33,34	1.111,34	125,52	15.756,23
2		Feb-01	144	240,37	-96,37	9.287,29	-46,37	2.149,61
3		Mar-01	59	142,10	-84,10	7.072,81	-36,48	1.330,51
4		Apr-01	288	132,37	155,63	19.395,79	199,52	39.807,46
5		May-01	9	143,96	-140,96	19.869,48	-91,48	8.367,89
6		Jun-01	16	132,37	-37,37	1.395,22	-78,48	6.139,31
7		Jul-01	37	9,33	47,43	2.248,31	-37,48	1.404,46
8		Agu-01	7	44,46	-37,46	1.403,37	-37,48	1.404,46
9		Sep-01	0	134,00	-134,00	17.956,00	-94,48	8.925,75
10		Ok-01	29	73,25	-44,25	1.957,91	-65,48	4.287,13
11		Nov-01	128	82,83	45,17	2.035,39	33,52	1.123,89
12		Des-01	108	121,16	-13,16	173,12	13,32	1.803,99
13	2002	Jan-02	221	170,31	50,69	2.569,36	136,52	18.631,79
14		Feb-02	198	207,92	-9,92	99,40	105,52	11.134,73
15		Mar-02	91	211,34	-120,34	14.481,22	-3,48	12,08
16		Apr-02	341	169,21	171,79	29.537,24	242,52	58.815,99
17		May-02	183	159,04	24,96	614,00	59,52	3.542,04
18		Jun-02	0	0,00	0,00	0,00	-94,48	8.925,75
19		Jul-02	9	0,00	0,00	0,00	-55,48	3.078,18
20		Agu-02	0	162,24	-162,24	26.331,36	-94,48	8.925,75
21		Sep-02	0	159,33	-159,33	25.385,89	-94,48	8.925,75
22		Ok-02	76	132,70	-56,70	3.222,49	-18,48	341,37
23		Nov-02	214	184,31	29,69	881,33	119,52	14.285,04
24		Des-02	81	206,54	-125,54	15.740,74	-13,48	181,61
25	2003	Jan-03	201	176,81	24,19	585,16	106,52	11.347,32
26		Feb-03	285	237,31	47,69	2.280,41	190,52	36.299,32
27		Mar-03	73	134,07	-61,07	3.729,25	-21,48	461,32
28		Apr-03	0	133,84	-133,84	17.912,65	-94,48	8.925,75
29		May-03	13	132,35	-119,35	14.244,32	-61,48	3.779,37
30		Jun-03	12	9,33	9,33	87,05	-94,48	8.925,75
31		Jul-03	9	133,20	-124,20	15.425,44	-94,48	8.925,75
32		Agu-03	0	133,21	-133,21	17.763,68	-94,48	8.925,75
33		Sep-03	0	133,21	-133,21	17.763,68	-94,48	8.925,75
34		Ok-03	0	133,21	-133,21	17.763,68	-94,48	8.925,75
35		Nov-03	89	104,10	-18,10	327,61	-5,48	29,96
36		Des-03	136	133,16	-2,16	4,67	41,52	1.723,23
37	2004	Jan-04	68	241,33	-173,33	30.217,37	-26,48	700,99
38		Feb-04	122	239,33	-117,33	13.746,73	60,52	3.663,13
39		Mar-04	487	188,37	298,63	87.195,13	342,52	117.322,56
40		Apr-04	189	248,31	-60,31	3.637,17	94,52	8.925,75
41		May-04	10	129,42	-119,42	14.281,43	-78,48	6.139,31
42		Jun-04	36	137,77	-101,77	10.358,43	-65,48	4.287,13
43		Jul-04	0	0,00	0,00	0,00	-94,48	8.925,75
44		Agu-04	0	49,13	-49,13	2.412,05	-94,48	8.925,75
45		Sep-04	0	133,21	-133,21	17.763,68	-94,48	8.925,75
46		Ok-04	0	133,21	-133,21	17.763,68	-94,48	8.925,75
47		Nov-04	70	101,43	-31,43	987,21	-22,48	505,13
48		Des-04	219	125,01	94,01	8.837,77	124,52	15.506,18
Jumlah			11.996,00	9.007,17	-1.071,17	3.693.231,25	0,00	995.330,95
Rerata			94,48	107,23	-12,75	6.705,13	0,00	11.249,18
NSE						0,43		

(Sumber: Perhitungan)

Dari hasil validasi menggunakan metode RMSEP, R<sup>2</sup>, dan NSE untuk stasiun Alas dengan variabel *Eastward Wind* menggunakan persamaan regresi CH= 163.8 + 25.29ua (m.s-1)

didapatkan hasil secara berturut-turut 81,88 mm, 41,5%, 0,43.

Untuk rekapitulasi validasi semua stasiun dapat dilihat pada **Tabel 10**.

**Tabel 10 Rekapitulasi Model Terpilih di 24 Stasiun Pulau Sumbawa**

No	Stasiun Hujan	Persamaan Regresi	RMSEP	R <sup>2</sup>	NSE
1	Alas	CH = 163.8 + 25.29ua (m.s-1)	81,88	41,50	0,43
2	Batu Lanteh	CH = 24137.6 + 18.4791 ua (m.s-1) - 0.233854 pda (pasca) - 156.947 laa	119,28	55,46	0,50
3	Boto	CH = 28244.2 - 0.271783 ua (pasca) - 236.968 laa	70,33	45,78	0,62
4	Bisma	CH = 20538.7 - 0.189575 pda (pasca) - 171.91 laa - 26.7709 rdcWind (m.s-1)	86,63	35,03	0,62
5	Boto	CH = 26841.6 - 0.257988 pda (pasca) - 142.899 laa - 19.3922 rdcWind (m.s-1)	91,37	51,97	0,58
6	Diperta Bisma	CH = 23438.7 - 0.212783 pda (pasca) - 266.334 laa	79,82	48,01	0,58
7	Diperta Sumbawa	CH = 27897.6 + 13.8683 ua (m.s-1) - 0.269463 pda (pasca) - 109.924 laa	75,35	55,80	0,59
8	Dungu	CH = 28241.6 - 0.272482 pda (pasca) - 194.588 laa	65,74	54,75	0,66
9	Empang	CH = 240.233 + 20.2737 ua (m.s-1) - 158.871 laa	37,91	55,74	0,72
10	Gerwah	CH = 13112.7 - 0.898407 ua (m.s-1) - 15727.6 laa - 0.125947 pda (pasca) - 238.86 laa	71,31	58,64	0,58
11	Kemgo	CH = 28521.9 - 0.254103 pda (pasca) - 251.434 laa	71,12	42,08	0,64
12	Lape	CH = 27839 - 0.276506 pda (pasca) - 191.14 laa - 3.78388 rdcWind (m.s-1)	75,79	60,04	0,58
13	Lenanggar	CH = 13510.1 + 16.1201 ua (m.s-1) - 0.129532 pda (pasca) - 127.721 laa	72,09	55,07	0,59
14	Luwuk	CH = 290.158 + 11.7941 ua (m.s-1) + 19993 bus - 206.476 laa	63,83	60,74	0,58
15	Motra	CH = 24460.8 - 0.234759 pda (pasca) - 227.608 laa	65,08	57,71	0,63
16	Panangas	CH = 21912.6 + 18.4341 ua (m.s-1) - 0.211532 pda (pasca) - 151.974 laa	86,82	47,20	0,58
17	Rananae	CH = 35743 - 0.343828 pda (pasca) - 278.322 laa	94,88	41,36	0,47
18	Stasiun Sumbawa	CH = 18425 + 15.5618 ua (m.s-1) - 0.177899 pda (pasca) - 136.257 laa	92,23	49,32	0,50
19	Sentak	rdcWind (m.s-1)	82,80	48,31	0,54
20	Sumbawa	CH = 28182 + 17.4684 ua (m.s-1) - 119.138 laa - 0.278146 pda (pasca)	81,04	54,08	0,58
21	Talungas	CH = 212.205 + 12.8957 ua (m.s-1) + 18464.8 bus - 154.513 laa	62,04	52,15	0,65
22	Uhan	CH = 361.1 + 27.72 ua (m.s-1)	81,88	33,00	0,43
23	Wayo	CH = 30083.8 - 0.190487 pda (pasca) - 230.233 laa - 10.4545 rdcWind (m.s-1)	79,07	50,15	0,66
24	Wota	CH = 33990 - 0.318446 pda (pasca) - 269.745 laa	77,04	46,69	0,60
Jumlah			1856,16	1181,40	13,92
Rata-Rata			77,34	49,23	0,58
Maksimum			119,28	60,74	0,72

(Sumber: Perhitungan)

Dari hasil rekapitulasi pada **Tabel 10** didapatkan hasil rata-rata validasi model terpilih yang terdiri dari RMSEP, R<sup>2</sup>, dan NSE berturut-turut yaitu 77,34 mm, 49,23%, dan 0,58.

**E. Analisis Hujan Ekstrim**

Adapun langkah-langkah analisis curah hujan ekstrim stasiun Alas pada tahun 1978-2007 sebagai berikut :

- 1) Mengelompokkan data hujan bulanan dari tahun 1978-2007
- 2) Data bulanan pada bulan Januari 1978-2007 dijumlahkan sehingga didapatkan curah hujan selama 30 tahun sebesar 7.335,00 mm.
- 3) Mencari rerata data bulan Januari periode

$$1978-2007, \frac{7.335,00}{30} = 244,50 \text{ mm.}$$

- 4) Kolom (4) = Kolom (3) – Rerata
- 5) Kolom (5) = Kolom (4) dikuadratkan.

6) Menghitung nilai varian =  $\frac{\sum (X_i - X_r)^2}{(n - 1)}$

$$\frac{326.571,50}{(30 - 1)} = 11.261,09 \text{ mm}^2.$$

7) Menghitung standar deviasi =  $\sqrt{\text{Varian}} = \sqrt{11.261,09} = 106,12 \text{ mm.}$

8) Menentukan *threshold* (batas atas/batas bawah), sesuai persamaan (2.21) dan (2.22)

Batas atas (b) =  $\mu + (1.64 * \sigma) = 244,50 + (1,64 \times 106,12) = 418,53 \text{ mm}$   
 Batas bawah (a) =  $\mu - (1.64 * \sigma) = 244,50 - (1,64 \times 106,12) = 70,47 \text{ mm}$ , Apabila pada perhitungan batas bawah terdapat nilai curah hujan yang bernilai minus (-) maka nilai tersebut dianggap 0 mm, karena curah hujan tidak mungkin bernilai minus (-) .

**Tabel 11** Analisis Hujan Ekstrem Stasiun Alas Bulan Januari Periode 1978-2007

No	Tahun	Curah Hujan (mm)	(x <sub>i</sub> -a)	(x <sub>i</sub> -a) <sup>2</sup>	Rerata	Batas Atas (mm)	Batas Bawah (mm)	Keterangan
1	Jan-78	193	-51,50	2652,25	244,50	418,53	70,47	-
2	Jan-79	198	-46,50	2162,25	244,50	418,53	70,47	-
3	Jan-80	157	-87,50	7656,25	244,50	418,53	70,47	-
4	Jan-81	454	209,50	43890,25	244,50	418,53	70,47	Ekstrem Basah
5	Jan-82	157	-87,50	7656,25	244,50	418,53	70,47	-
6	Jan-83	222	-22,50	506,25	244,50	418,53	70,47	-
7	Jan-84	341	96,50	9312,25	244,50	418,53	70,47	-
8	Jan-85	58	-186,50	34782,25	244,50	418,53	70,47	Ekstrem Kering
9	Jan-86	325	80,50	6480,25	244,50	418,53	70,47	-
10	Jan-87	313	68,50	4692,25	244,50	418,53	70,47	-
11	Jan-88	262	17,50	306,25	244,50	418,53	70,47	-
12	Jan-89	509	64,50	4160,25	244,50	418,53	70,47	-
13	Jan-90	370	125,50	15750,25	244,50	418,53	70,47	-
14	Jan-91	317	72,50	5256,25	244,50	418,53	70,47	-
15	Jan-92	293	48,50	2352,25	244,50	418,53	70,47	-
16	Jan-93	343	98,50	9702,25	244,50	418,53	70,47	-
17	Jan-94	166	-78,50	6162,25	244,50	418,53	70,47	-
18	Jan-95	191	-53,50	2862,25	244,50	418,53	70,47	-
19	Jan-96	211	-33,50	1122,25	244,50	418,53	70,47	-
20	Jan-97	339	-105,50	11130,25	244,50	418,53	70,47	-
21	Jan-98	325	80,50	6480,25	244,50	418,53	70,47	-
22	Jan-99	427	182,50	33306,25	244,50	418,53	70,47	Ekstrem Basah
23	Jan-00	156	-88,50	7832,25	244,50	418,53	70,47	-
24	Jan-01	220	-24,50	600,25	244,50	418,53	70,47	-
25	Jan-02	338	93,50	8742,25	244,50	418,53	70,47	-
26	Jan-03	251	-15,50	240,25	244,50	418,53	70,47	-
27	Jan-04	107	-137,50	18906,25	244,50	418,53	70,47	-
28	Jan-05	81	-163,50	26732,25	244,50	418,53	70,47	-
29	Jan-06	363	118,50	14042,25	244,50	418,53	70,47	-
30	Jan-07	68	-176,50	31152,25	244,50	418,53	70,47	Ekstrem Kering
Jumlah		7335,00	0,00	326571,50				
Rerata		244,50	0,00	10885,72				
Varian				11261,09				
Standar Deviasi				106,12				
Batas Atas				418,53				
Batas Bawah				70,47				

(Sumber: Perhitungan)

Dari analisis di atas didapatkan batas atas serta batas bawah untuk analisis hujan ekstrem. Sehingga untuk analisis hujan ekstrem data prediksi (2008-2100) menggunakan syarat batas atas serta batas bawah tersebut.

**F. Pengaruh Perubahan Iklim dan ENSO terhadap Curah Hujan Ekstrem**

Untuk melihat pengaruh dari perubahan iklim terhadap curah hujan ekstrem adalah dengan melihat jumlah kejadian ekstrem pada periode yang sama antara kejadian ekstrem data observasi dengan ekstrem prediksi, sedangkan untuk pengaruh curah hujan ekstrem dengan ENSO maka dilihat dari nilai korelasinya.

Adapun langkah-langkah mengetahui pengaruh perubahan iklim terhadap curah hujan ekstrem di Pulau Sumbawa sebagai berikut:

- 1) Mengelompokkan data curah hujan ekstrem basah dan kering yang terjadi selama periode data observasi untuk contoh perhitungan digunakan stasiun Alas Periode (1978-2007).
- 2) Kejadian ekstrem basah dan kering tersebut dijumlahkan untuk

mendapatkan total jumlah kejadian ekstrem masing-masing.

- 3) Kemudian data hujan ekstrem prediksi dari 2008-2100 diperlakukan sama sesuai langkah 1 dan 2.
- 4) Menghitung persentase kejadian hujan ekstrem basah, kering, dan total kejadian ekstrem.  
 Kolom (7) = [ Kolom (3), baris (2) / Kolom (3), baris (1) ] x 100  
 Kolom (7) = [36/26 ] x 100 = 138,46 %
- 5) Persentase ekstrem kering (kolom 8) dan total kejadian ekstrem (kolom 9), langkah perhitungannya sama seperti langkah ke empat.

**Tabel 12** Persentase Kejadian Ekstrem Stasiun Alas

No	Stasiun Hujan	Ekstrem Basah	Ekstrem Kering	Total Ekstrem	Periode	Ekstrem Basah (%)	Ekstrem Kering (%)	Total Ekstrem (%)
1	Alas	26	80	106	1978-2007	100,00	100,00	100,00
		36	17	53	2008-2037	138,46	21,25	50,00
		32	16	48	2038-2067	123,08	20,00	45,28
		31	14	45	2068-2097	119,23	17,50	42,45
		2	0	2	2098-2100	7,69	0,00	1,89
Jumlah		101,00	47,00	148,00		388,46	58,75	139,62
Rerata		25,25	11,75	37,00		97,12	14,69	34,91
Maksimum		36,00	17,00	53,00		138,46	21,25	50,00
Minimum		2,00	0,00	2,00		7,69	0,00	1,89

(Sumber: Perhitungan)

Sedangkan langkah-langkah untuk melihat pengaruh ENSO (SOI) terhadap curah hujan ekstrem dengan nilai korelasi antara SOI dengan curah hujan ekstrem sebagai berikut :

- 1) Mengurutkan data kejadian hujan ekstrem periode 1978-2007 (Kolom 3)
- 2) Kolom (4) = nilai SOI disesuaikan dengan waktu kejadian hujan ekstrem.
- 3) Kemudian dihitung nilai korelasi dengan fungsi *correl* dengan *Microsoft Excel 2007* sesuai dengan **Tabel 13**
- 4) Menghitung persentase kejadian hujan ekstrem basah, kering, dan total kejadian ekstrem.

**Tabel 13** Rekapitulasi Nilai Korelasi antara Curah Hujan Ekstrim dan SOI 24 Stasiun di Pulau Sumbawa

No	Nama Stasiun	Periode	Korelasi
1	Alas	1978-2007	0,10
2	Batu Lanteh	1978-2007	-0,04
3	Belo	1978-2007	0,15
4	Bima	1978-2007	0,24
5	Bolo	1978-2007	0,06
6	Diperta Bima	1978-2007	0,16
7	Diperta Sumbawa	1978-2007	0,40
8	Donggo	1978-2007	0,01
9	Empang	1978-2007	-0,10
10	Jereweh	1978-2007	0,05
11	Kempo	1978-2007	0,13
12	Lape	1978-2007	0,11
13	Lenangguar	1978-2007	0,10
14	Lunyuk	1978-2007	0,10
15	Monta	1978-2007	0,19
16	Plampang	1978-2007	0,09
17	Rasanae	1978-2007	0,24
18	Stamet Sumbawa	1978-2007	0,18
19	Seteluk	1978-2007	-0,07
20	Sumbawa	1978-2007	0,14
21	Taliwang	1978-2007	0,01
22	Uthian	1978-2007	-0,01
23	Wawo	1978-2007	0,04
24	Woha	1978-2007	0,20
Jumlah			2,49
Rerata			0,10
Minimum			0,40
Maksimum			-0,10

(Sumber: Perhitungan)

Dari hasil rekapitulasi pada **Tabel 13** didapatkan rata-rata angka korelasi antara SOI dan curah hujan ekstrim di Pulau Sumbawa sebesar 0,10. Hal ini menunjukkan hubungan ENSO tidak signifikan berpengaruh terhadap curah hujan ekstrim karena korelasinya sangat rendah.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari Kajian Pengaruh Perubahan Iklim dan ENSO terhadap Curah Hujan Ekstrim di Pulau Sumbawa sebagai berikut :

- 1) Variabel perubahan iklim yang paling berpengaruh terhadap curah hujan bulanan di Pulau Sumbawa adalah *Eastward Wind* dengan nilai korelasi 0,71, sedangkan hubungan ENSO dengan curah hujan bulannya tidak signifikan berpengaruh dengan nilai korelasi 0,20 (korelasi rendah).
- 2) Didapatkan model matematik dari variabel perubahan iklim terhadap curah hujan bulanan di setiap Stasiun Pulau Sumbawa sesuai dengan **Tabel 10** Dengan hasil rata-rata validasi model terpilih yang terdiri dari RMSEP,  $R^2$ , dan NSE berturut-turut yaitu 77,34 mm, 49,23%, dan 0,58. Sedangkan model matematik ENSO terhadap curah hujan bulannya tidak dilakukan karena pengaruhnya yang rendah pada saat korelasi.

- 3) Perubahan iklim berpengaruh terhadap kejadian Curah Hujan Ekstrim di Pulau Sumbawa. Prediksi rata-rata kejadian ekstrim basah sebesar 118,11% dan ekstrim kering 72,12% pada tahun 2008-2100, ini menunjukkan bahwa kejadian ekstrim basah semakin sering terjadi sedangkan ekstrim kering kejadiannya semakin berkurang pada beberapa stasiun. Sedangkan hubungan ENSO tidak signifikan berpengaruh terhadap curah hujan ekstrim dengan angka korelasi rata-rata seluruh stasiun 0,10.

### B. Saran

- 1) Analisis pemodelan hanya dilakukan dengan regresi linier sederhana dan ganda, sehingga peneliti menyarankan mencoba menghitung dengan analisis regresi non linier ataupun metode lainnya
- 2) Variabel yang digunakan hanya 13 variabel dari 136 variabel yang disediakan oleh IPCC, serta data anomali masa aktifnya *El Nino* dan *La Nina* di lihat dari nilai SOI, sehingga untuk peneliti selanjutnya bisa menambah variabel perubahan iklim yang belum digunakan.
- 3) Peneliti menyarankan tidak hanya berfokus terhadap pengaruh anomali berupa ENSO (*El Nino* dan *La Nina*) saja, untuk kedepannya bisa menggunakan nilai-nilai dari data anomali seperti IOD (*Index Ocean Dipole*), data iklim lokal, maupun data perubahan iklim global lainnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurahman, Maman., Sambas Ali Muhidin., dan Ating Somantri. 2011. *Dasar-dasar Metode Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: CV Pustaka Setia.
- Adiatma, Kuku. 2018. *Kajian Pengaruh Perubahan Iklim dan ENSO( El Nino Southern Oscillation) terhadap Curah Hujan Ekstrim di Pulau Lombok*. (Skripsi). Mataram: Universitas Mataram.
- Anonim. 2017. *Multikolinearitas*. <https://id.wikipedia.org/wiki/Multikolinearitas>.
- Anonim. 2017. *Pulau Sumbawa*. [https://id.wikipedia.org/wiki/Pulau\\_Sumbawa](https://id.wikipedia.org/wiki/Pulau_Sumbawa).
- Anonim. 2017. *R-squared*. <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/goodness-of-fit-statistics/r-squared/>.

- Anonim. 2017. *VIF*. [Http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/model-assumptions/what-is-a-variance-inflation-factor-vif/](http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/model-assumptions/what-is-a-variance-inflation-factor-vif/).
- Data Curah Hujan Bulanan. 2017. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- ENSO (*El Nino Southern Oscillation*). 2013. [Http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences.shtml?bookmark=enso](http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences.shtml?bookmark=enso).
- Estiningtyas, W., Aji Hamim Wigena. 2011. *Teknik Statistical Downscaling Dengan Komponen Utama Dan Regresi Kuadrat Terkecil Parsial Untuk Prediksi Curah Hujan Pada Kondisi El Nino, La Nina dan Normal*. Jurnal. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fitria, Welly dan Maulana Sunu Pratama. 2013. *Pengaruh Fenomena El Nino 1997 dan La Nina 1999 terhadap Curah Hujan di Biak*. Jakarta: Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol. 14, No. 2:65-74.
- GIIB. 2009. *Pedoman Penulisan Tugas Akhir*, Mataram: Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram.
- Hartato, E. 2009. *Gejala El Nino semakin Menguat*. Jakarta : Whatever I Said.
- Ilimi, MK . 2016. *Penerapan Metode Palmer Drought Seveirty Index (PDSI) dan THORNTHWAITEMATTER untuk Analisa Indeks Kekeringan di Kecamatan Sekotong Kabupaten Lombok Barat*. (Skripsi). Mataram : Universitas Mataram.
- Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013. *What is a GCM?*. [Http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm\\_guide.html](http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html).
- IPCC Assessment Report 5 and Coupled Model Intercomparison Project Data Sets. 2017. <https://cera-www.dkrz.de>.
- Kamiana, I Made. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumo, I. 2015. *Proyeksi Perubahan Tipe Iklim OLDEMAN 2011-2100 Berdasarkan scenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 di Wilayag Sumatera Selatan*. Jakarta: Jurnal Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.
- Putri, S.P. 2017. *Pengaruh El Nino-Southern Oscillation (ENSO) terhadap Curah Hujan Musiman, Curah Hujan Bulanan dan Curah Hujan Ekstrim di Pulau Lombok*. (Skripsi). Mataram: Universitas Mataram.
- S.O.I. (Southern Oscillation Index) Archives, Australian Government Bureau Of Meteorology. [Http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2/html](http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2/html).
- Sitompul, Z dan Nurjani, E. 2012. *Pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO) terhadap Curah Hujan Musiman dan Tahunan di Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sri Harto, B.R. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Suchayono, D dan Kukuh Ribudiyanto. 2013. *Cuaca dan Iklim Ekstrim Di Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Surmaini, E dan Susanti, E. 2008. *Indikator Iklim Global dan Pengaruhnya Terhadap Kejadian Iklim Ekstrim di Indonesia*. Bogor : Jurnal Tanah dan Iklim.
- Suwandi., Zaim, Y., dan Bayong Tjasyono HK. 2014. *Pengaruh Aktivitas Enso dan Dipole Mode terhadap Pola Hujan di Wilayah Maluku dan Papua Selama Periode Tahun (1901-2000)*. Bandung: Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol. 15, No. 1:71-76.
- Tjasyono, Bayong. 2004. *Klimatologi*. Bandung : Penerbit ITB.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wigena, AH. 2006. *Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Projection Pursuit untuk Permalan Curah Hujan Bulanan*. Disertasi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.