



## Vol. 7, No. 2, Agustus 2016

Diterbitkan oleh

**Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang  
Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika**

Jl. Raya Bukittinggi-Medan Km. 17 Palupuh, Sumatera Barat

---

### SUSUNAN REDAKSI

#### **PENANGGUNG JAWAB**

Edison Kurniawan, S.Si, M.Si

#### **MITRA BESTARI**

Prof.Dr.Edvin Aldrian, B.Eng, M.Sc

Dra. Noerhayati, M.Sc

Dr. Dodo Gunawan, DEA

Dr. Wandono

Dr. Hamdi Rivai

#### **REDAKTUR**

Budi Satria, S.Si

Rudi Anuar Yudha Trisaputra, SP

#### **EDITOR**

Andi Sulitiyono, S.Si

Yosfi Andri, ST

Alberth Christian Nahas, MCC

#### **DESAINS GRAFIS DAN FOTOGRAFER**

Darmadi

Harika Utri, S.Kom

Reza Mahdi, ST

Rinaldi

#### **SEKRETARIAT REDAKSI**

Yasri

Dwi Lestari Sanur, S.Tr

Ibrahim

### MEGASAINS

MEGASAINS merupakan bulletin yang diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit kototabang sebagai media penguatan Karya Tulis Ilmiah (KTI) yang bersumber dari kegiatan penelitian berbasis ilmu-ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas udara, dan Geofisika (MKKuG), serta lingkungan.

Dewan Redaksi membuka kesempatan bagi para pakar ataupun praktisi untuk dapat mengirimkan naskah KTI, terutama yang berkaitan dengan fokus utama dari Buletin MEGASAINS.

Naskah KTI yang dikirimkan hendaknya asli dan belum pernah dipublikasikan. Naskah diketik dengan menggunakan aplikasi *Microsoft™ Word* dengan ketentuan panjang naskah maksimal 20 halaman pada kertas ukuran A4; batas kiri 4 cm, kanan 3,17 cm, atas dan bawah 2,54 cm; satu kolom; font Arial; judul ditulis menggunakan font 12 pts, rata tengah, spasi tunggal, huruf capital, dan cetak tebal; isi ditulis menggunakan font 10 pts, rata kiri-kanan, dan spasi tunggal; tulisan disertai dengan abstrak sepanjang satu alinea, dicetak dengan font 10, spasi tunggal, dan disertai dengan 2-5 kata kunci.

Dewan Redaksi berhak mengubah isi naskah sepanjang tidak mengubah substansinya. Isi naskah adalah sepenuhnya tanggung jawab penulis. Pemilihan naskah yang layak cetak adalah sepenuhnya hak Dewan Redaksi.

Informasi lebih lanjut dapat mengunjungi laman:

[www.megasains.gaw-kototabang.com](http://www.megasains.gaw-kototabang.com)

atau mengirimkan email ke alamat:

[stagaw.kototabang@bmkg.go.id](mailto:stagaw.kototabang@bmkg.go.id)

*- halaman ini sengaja dikosongkan -*

## Dari Redaksi

Pembaca yang kami banggakan,

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang data kembali menerbitkan Buletin MEGASAINS.

Pada terbitannya yang sudah memasuki Volume ke-7 di tahun 2016, Buletin MEGASAINS tampil dengan wajah dan desain tata saji baru. Dengan melakukan perubahan perubahan pada desain tata saji diharapkan membawa warna yang berbeda dari edisi edisi sebelumnya. Perubahan tata saji juga diperkenalkan dengan memanfaatkan tampilan dua- kolom pada setiap halamannya.

Dengan ditunjang oleh semangat dari seluruh staf Stasiun GAW Bukit Kototabang di dalam dukungannya terhadap kesinambungan penerbitan Buletin MEGASAINS, Dewan Redaksi tentunya sangat berharap KTI ini dapat mendorong terciptanya peningkatan pelayanan MKKuG di masa yang akan datang. Di samping itu, munculnya kesadaran dalam melakukan kaidah penelitian juga diharapkan akan menunjang bagi peningkatan pengetahuan serta kinerja di dalam melaksanakan tugas sehari-hari.

*Tak ada gading yang tak retak*, demikian pula kiranya terbitan Buletin MEGASAINS ini yang masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Dewan Redaksi sangat mengharapkan saran dan masukan yang membangun demi perbaikan terbitannya di kemudian hari.

Akhirnya, kami mengucapkan selamat membaca dan semoga bermanfaat.

Bukit Kototabang, Agustus 2016

**Daftar KTI**

|                                                                                                                                                                                                                              | halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| VERIFIKASI PERHITUNGAN ENERGI RADIASI MATAHARI MENGGUNAKAN METODE PRESCOTT TERHADAP KONDISI AKTUAL<br><i>Dwi Lestari Sanur</i>                                                                                               | 1 – 8   |
| PENGARUH SOUTHERLY SURGE TERHADAP CURAH HUJAN DI WILAYAH NUSA TENGGARA TIMUR<br>PADA BULAN JANUARI 2007<br><i>Taryono, dan Natalia Eunike Ruwe</i>                                                                           | 9 – 16  |
| STUDI VARIASI SPASIAL PARAMETER SEISMOTEKTONIK<br>UNTUK MENGETAHUI KONDISI STRESS LOKAL TEKTONIK DAN TINGKAT KEAKTIFAN KEGEMPAAN DI WILAYAH SUMATERA BARAT DAN SEKITARNYA<br><i>Furqon Dawam Raharjo, dan Rahmat Triyono</i> | 17 – 24 |
| KAJIAN KLIMATOLOGIS BANJIR KILAT (FLASH FLOOD) SINGKAWANG<br>TANGGAL 21-22 MEI 2016<br><i>Firsa Zukhrufiana Setiawati, Wandayantolis, dan Nurdeka Hidayanto</i>                                                              | 25 – 32 |
| SIMULASI DYMEX UNTUK PENDUGAAN POTENSI RESIKO KEHILANGAN HASIL OLEH HAMA PENGGEREK BATANG PADI KUNING DI INDRAMAYU<br><i>Eva Nurhayati, Yonny Koesmaryono, dan Impron</i>                                                    | 33 – 44 |
| PENGARUH EL NIÑO DAN LA NIÑA TERHADAP CURAH HUJAN DI BIAK SELAMA 30 TAHUN (1981-2010)<br><i>Prayoga Ismail</i>                                                                                                               | 45– 53  |

## Verifikasi Perhitungan Energi Radiasi Matahari Menggunakan Metode Prescott Terhadap Kondisi Aktual

Dwi Lestari Sanur<sup>1</sup>, Qurrita A'yun Kartika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang,

<sup>2</sup>Stasiun Klimatologi Sampali Medan

**Abstrak.** Radiasi matahari merupakan sumber energi yang mempengaruhi proses-proses fisika di atmosfer. Berbeda dengan sumber energi yang berasal dari fosil, radiasi matahari memiliki jumlah energi yang ketersediaannya melimpah namun tergantung dari letak astronomis. Indonesia sebagai wilayah yang terletak di daerah tropis banyak menerima radiasi matahari, sehingga energi radiasi matahari di Indonesia sangat berpotensi untuk dimanfaatkan. Akan tetapi, terbatasnya informasi energi matahari di Indonesia membuat pemanfaatan energi radiasi matahari kurang dapat dimanfaatkan secara maksimal. Untuk itu diperlukan suatu formula yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan energi radiasi matahari untuk melengkapi informasi yang ada berdasarkan data yang ada. Perhitungan energi matahari metode Prescott merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan perhitungan matahari berdasarkan lama penyinaran matahari dengan lintang. Akan tetapi perlu diteliti lebih lanjut sejauh mana kesesuaian hasil perhitungan dengan metode Prescott terhadap kondisi aktualnya sehingga data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara maksimal. Berdasarkan perbandingan energi matahari aktual dengan perhitungan energi matahari menggunakan metode Prescott diketahui bahwa kedua nilai memiliki pola yang sama yang ditunjukkan dengan nilai korelasi yang tinggi untuk Kayuwatu, Kototabang, Banjarbaru, Maros dan Pondok Betung, sedangkan untuk Pulau Baai memiliki pola yang tidak terlalu sama yang ditunjukkan dengan nilai korelasi yang sedang namun memiliki nilai akar rata-rata kuadrat error (RMSE) yang rendah dapat ditoleransi.

**(Kata Kunci:** Radiasi Matahari, energi, daerah tropis, metode Prescott, Korelasi dan RMSE)

**Abstract.** Sun radiation is the source of energy that can give effect processes in atmosphere. Different with energy from fossil, sun radiation is profuse energy but it depend on astronomical location. Indonesia as a country in tropical area that accept so many energy of sun radiation, so Indonesia is a potential place that can be used to using sun radiation as a source of energy. But, because of the limited of information about sun radiation in Indonesia, the profit of energy of sun radiation cannot be used maximally. So we need a formula that can be used to calculate energy of sun radiation to complete the data based on another available data. Calculation of sun radiation with Prescott method is a method that can be used to calculate energy of sun radiation based on duration of sunshine and latitude data. But, we need to know how suitable calculation with Prescott method and actual condition is, so the result data can be used maximally. Based on the comparison of calculation of sun radiation with Prescott method and actual condition, both of them have the same pattern that is showed by the high value of correlation in some places that is in Kayuwatu, Kototabang, Banjarbaru, Maros and Pondok Betung, in other side Pulau Baai has different pattern that is showed with low value of correlation but it has the low value of Root Mean Square (RMSE) so the different value is can be tolerated.

**(Keyword:** Sun Radiation, Energy, Tropical area, Prescott Method, Correlation and RMSE)

### Pendahuluan

Radiasi matahari merupakan sumber energi utama untuk proses-proses fisika atmosfer yang berpengaruh pada keadaan cuaca dan iklim di bumi karena radiasi matahari merupakan energi penggerak atmosfer dan laut. Di samping itu, matahari juga merupakan komponen sumber energi yang digunakan untuk kelangsungan kehidupan makhluk hidup

diantaranya ialah penggunaan radiasi matahari untuk proses fotosintesis pada tumbuhan.

Radiasi yang dipancarkan matahari tidak seluruhnya diterima bumi. Penerimaan radiasi matahari di permukaan bumi bervariasi yang ditentukan oleh letak lintang, jarak antara matahari dan bumi, panjang hari dan sudut datang serta pengaruh atmosfer bumi seperti kandungan debu, uap air dan awan.

Posisi lintang berpengaruh pada radiasi sinar matahari karena posisi matahari terhadap bumi bervariasi setiap harinya. Matahari seolah menyinari bumi dari selatan ke utara (pada Januari hingga Juni) kemudian berbalik dari utara ke selatan (pada Juni hingga Desember) sebagai akibat revolusi bumi terhadap matahari. Dengan demikian semakin mendekati khatulistiwa (lintang 00) maka hampir semakin seimbang (sama) panjang siang hari dan malam hari serta semakin menjauhi khatulistiwa maka semakin berbeda panjang siang hari dan malam hari di suatu tempat. Ketika terjadi musim dingin di belahan bumi utara (BBU) panjang siang hari di BBU lebih singkat dari pada panjang siang hari di belahan bumi selatan (BBS) dan panjang malam hari di BBU lebih panjang daripada di BBS dan begitu juga sebaliknya ketika musim dingin terjadi di BBS. Hal ini menunjukkan terjadi keterbalikan pola panjang siang dan malam hari untuk BBU dan BBS.

Indonesia terletak di wilayah tropis dan khatulistiwa, yang berarti Indonesia memiliki potensi energi matahari cukup besar karena matahari bersinar sepanjang tahun dengan jumlah yang hampir sama tiap harinya. Dengan

demikian, di Indonesia energi matahari sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Informasi mengenai ketersediaan energi matahari merupakan suatu hal yang penting untuk mendukung pemanfaatan energi matahari tersebut. Pengukuran energi radiasi matahari di Indonesia salah satunya dilakukan oleh beberapa stasiun BMKG di Indonesia, diantaranya Stasiun Klimatologi Kayuwatu, Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang, Stasiun Klimatologi Banjarbaru, Stasiun Klimatologi Pulau Baai, Stasiun Klimatologi Maros dan Stasiun Klimatologi Pondok Betung. Akan tetapi, terbatasnya pengukuran energi radiasi matahari di Indonesia membuat perlu dilakukannya perhitungan energi radiasi matahari dengan menggunakan suatu formula. Formula tersebut kemudian digunakan sebagai awal pemanfaatan energi radiasi matahari yang sangat potensial. Namun demikian, perlu diteliti sejauh mana kesesuaian hasil perhitungan formula tersebut dengan kondisi aktual agar didapat hasil yang representatif sehingga data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara maksimal.

### Metodologi

Pada tulisan ini, data yang digunakan adalah data hasil pengukuran dari beberapa Stasiun Klimatologi dan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada tabel dan gambar berikut :

**Tabel 1.** Koordinat dan Elevasi Stasiun Pengukur Durasi dan Energi Radiasi Matahari.

| No. | Propinsi           | Stasiun                   | Lintang        | Bujur           | Ketinggian (mdpl) |
|-----|--------------------|---------------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 1   | Maluku             | Klimatologi Kayuwatu      | 01° 29' 54" LU | 124° 53' 54" BT | 85                |
| 2   | Sumatera Barat     | SPAG Bukit Kototabang     | 00° 12' 00" LS | 100° 19' 12" BT | 864,5             |
| 3   | Kalimantan Selatan | Klimatologi Banjarbaru    | 03° 27' 43" LS | 114° 50' 27" BT | 55                |
| 4   | Bengkulu           | Klimatologi Pulau Baai    | 03° 51' 56" LS | 102° 18' 43" BT | 8,5               |
| 5   | Sulawesi Selatan   | Klimatologi Maros         | 04° 55' 51" LS | 119° 34' 19" BT | 11                |
| 6   | Jawa Barat         | Klimatologi Pondok Betung | 06° 15' 20" LS | 106° 45' 00" BT | 26,2              |



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Metode yang digunakan untuk menghitung besarnya radiasi matahari adalah formula Prescott (1940) yang dihitung menggunakan rumus :

$$R_s = (0.25 + 0.45 \frac{n}{N}) R_a \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $R_s$  adalah radiasi matahari ( $\text{MJ/m}^2/\text{hari}$ ) ;  $n$  adalah lama matahari bersinar dalam satu hari (jam);  $N$  merupakan lama maksimum matahari bersinar dalam satu hari (jam);  $R_a$  adalah radiasi matahari ekstraterrestrial ( $\text{MJ/m}^2/\text{hari}$ ); sedangkan 0,25 dan 0,45 adalah koefisien regresi untuk wilayah daerah tropis.

Sementara itu, radiasi matahari ekstraterrestrial ( $R_a$ ) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R_a = 37.6 \text{ dr} (\omega \sin \phi \sin \delta \cos \phi \cos \delta \sin \omega s) \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $\text{dr}$  adalah jarak relatif antara bumi dan matahari;  $\delta$  adalah sudut deklinasi matahari (rad);  $\phi$  adalah letak lintang (rad) dengan lintang utara bernilai positif dan lintang selatan bernilai negative; sedangkan  $\omega s$  adalah sudut saat matahari terbenam (rad).

Sudut saat matahari terbenam ( $\omega s$ ) dihitung menggunakan persamaan :

$$\omega s = \arccos (-\tan \phi \tan \delta) \dots\dots\dots (3)$$

$\text{dr}$  merupakan jarak relatif antara bumi dan matahari yang dihitung berdasarkan persamaan berikut ini (Duffie & Beckman, 1980 dalam Musrawati, 2014) :

$$\text{dr} = 1 + 0.033 \cos(\frac{2\pi}{365} J) + 0.033 \cos(0.0172 J) \dots\dots\dots (4)$$

Sementara itu, besarnya  $\delta$  dihitung berdasarkan persamaan :

$$\delta = 0.409 \left( \frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) = 0.409 \sin(0.0172 J - 1.39) \dots\dots\dots (5)$$

Berdasarkan nilai  $J$  pada persamaan (4) 0.0172 dan (5)  $(0.0172 J - 1.39)$  dalam radian sehingga besarnya nilai  $J$  dapat dihitung menggunakan:

Untuk  $J$  bulanan (Gommes, 1983 dalam Musrawati, 2014) :

$$(J = \text{Integer}(30.42 M - 15.23)) \dots\dots\dots (6)$$

Untuk  $J$  Harian (Craig, 1984 dalam Musrawati, 2014) :

$$(J = \text{Integer}(275 M/9 - 30 + D) - 2) \dots\dots\dots (7)$$

dimana  $J$  adalah nomor urut hari dalam setahun (hari julian),  $M$  adalah bulan (1-12) dan  $D$  adalah hari/tanggal dalam bulan (1-31). Untuk melakukan perhitungan dengan periode 10 harian, maka nilai  $J$  diperoleh dari persamaan (7) dengan  $D$  yaitu 5, 15, dan 25 pada setiap bulannya.

Sedangkan untuk kondisi aktualnya yang digunakan ialah data hasil observasi menggunakan *pyranometer* (SPAG Bukit Kototabang) dan *gunbellani*. *Gunbellani* mengukur akumulasi radiasi gelombang pendek dari matahari selama suatu periode pengukuran tertentu. Besar intensitas radiasi adalah sebagai berikut:

$$R = (H_{I \text{ hari ini}} - H_{II \text{ kemarin}}) \times \text{koef. kalibrasi} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan  $R$  adalah radiasi matahari,  $H_{I \text{ hari ini}}$  adalah ketinggian cairan pada pembacaan pertama hari ini dan  $H_{II \text{ kemarin}}$  adalah ketinggian cairan pada pembacaan kedua kemarin dan koefisien kalibrasi = 20.8 gram kalori/ $\text{cm}^2$ . Data tersebut masih berupa harian, sehingga harus dicari dengan metode rata-rata harian kemudian bulanan.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (9)$$

Karena perhitungan di atas masih memiliki satuan kalori/ $\text{cm}^2$ , maka harus dilakukan konversi ke  $\text{W/m}^2$  dengan koefisien pengali 0.484.

Setelah didapat hasil dengan satuan yang sama, maka dilakukan perbandingan antara perhitungan dengan metode Prescott dengan perhitungan hasil pembacaan *pyranometer* dan *gunbellani* sebagai pembacaan aktual

Perbandingan dilakukan dengan menganalisa hasil perhitungan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) dan *Root Mean Square* (RMSE). Secara matematis  $r$  (Riduwan, 2003) dan RMSE secara berurutan dijelaskan dalam rumus berikut:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \dots\dots\dots (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X - Y)^2} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan  $r$  adalah koefisien korelasi antara radiasi matahari hasil perhitungan menggunakan Formula Presscot dengan radiasi matahari hasil pengukuran,  $X$  adalah radiasi matahari hasil perhitungan menggunakan Formula Presscot;  $Y$  merupakan radiasi matahari hasil pengukuran; dan  $n$  adalah jumlah data. Perhitungan rata-rata kesalahan dg cara mengambil akar kuadrat rata-rata jumlah nilai kuadrat kesalahan.

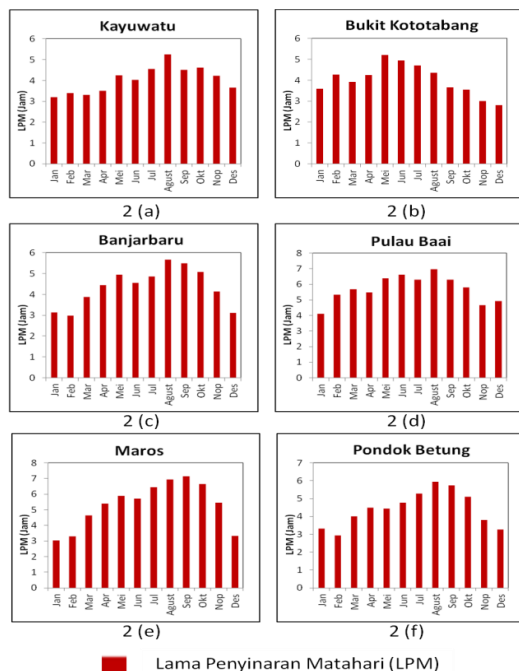
Selain dengan menggunakan koefisien korelasi dan RMSE, perbandingan juga dapat dilakukan dengan *Mean Absolute Error* (MAE) dengan persamaan sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_{pred} - x_{obs}| \dots\dots\dots(12)$$

dengan  $x_{pred}$  adalah nilai perhitungan,  $x_{obs}$  adalah nilai aktual dan  $n$  adalah banyaknya data, MAE menyatakan perhitungan rata-rata kesalahan dg cara merata-rata jumlah nilai mutlak kesalahan.

## Hasil dan Pembahasan

### Durasi Penyinaran Matahari



**Gambar 2.** Rata-rata bulanan durasi penyinaran matahari (a) Kayuwatu, (b) Bukit Kototabang, (c) Banjarbaru, (d) Pulau Baai, (e) Maros, dan (f) Pondok Betung.

Berdasarkan Gambar 2. diketahui bahwa rata-rata durasi penyinaran matahari bervariasi di setiap lokasi penelitian yang secara umum durasi penyinaran matahari

pada lokasi penelitian terjadi lebih dari 3 jam setiap tahunnya.

Pada Gambar 2(a) diketahui bahwa durasi penyinaran matahari rata-rata bulanan di Kayuwatu periode 2008-2015 mengalami penyinaran matahari rata-rata sebesar 4 jam dengan durasi penyinaran paling panjang terjadi pada bulan Agustus sebesar 5.2 jam dan paling pendek terjadi pada bulan Januari dengan durasi penyinaran sebesar 3.2 jam.

Sementara itu, pada Gambar 2(b) dapat dilihat bahwa rata-rata bulanan durasi penyinaran matahari di SPAG Bukit Kototabang periode 2008-2015 juga sebesar 4 jam dengan durasi paling lama terjadi pada bulan Mei yaitu 5.2 jam dan paling pendek terjadi pada bulan Desember dengan durasi 2.8 jam.

Sama halnya dengan lokasi penelitian Kayuwatu, durasi penyinaran matahari paling panjang di Banjarbaru periode 2012-2015 juga terjadi pada bulan Agustus dengan durasi 5.7 jam dan durasi terpendek terjadi pada bulan Februari sebesar 3 jam dengan rata-rata lama penyinaran matahari pada periode tersebut adalah sebesar 4.4 jam yang dapat dilihat pada Gambar 2(c).

Pada Stasiun Klimatologi Pulau Baai (Gambar 2(d)), durasi penyinaran matahari rata-rata pada periode 2011-2015 adalah sebesar 5.4 jam dengan durasi paling lama juga terjadi pada bulan Agustus selama 6.3 jam dan paling pendek terjadi pada bulan Januari dengan durasi 4.4 jam.

Lama penyinaran matahari di Maros periode 2001-2010 yang dapat dilihat pada Gambar 2(e) memiliki rata-rata bulanan sebesar 5.3 jam dengan durasi paling lama terjadi pada bulan September dengan durasi 7.1 jam dan durasi terpendek terjadi pada bulan Januari selama 3 jam.

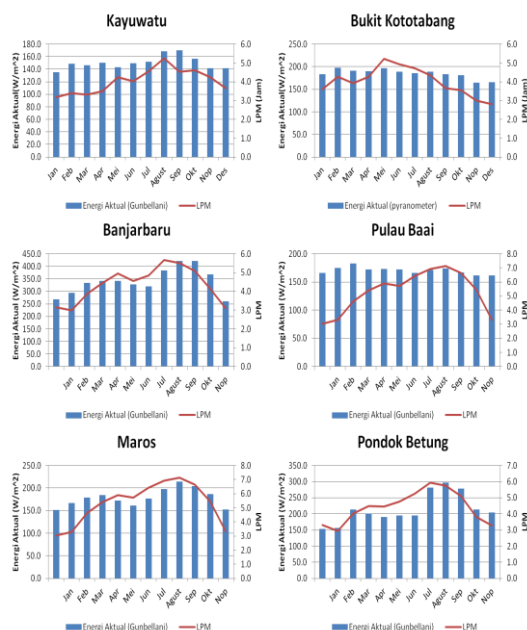
Sama dengan Kayuwatu, Banjarbaru dan Pulau Baai, pada Stasiun Klimatologi Pondok Betung durasi penyinaran matahari terpanjang periode 2012-2015 juga terjadi pada bulan Agustus dengan durasi sebesar 5.9 jam dan terpendek terjadi bulan Februari selama 2.9 jam dengan rata-rata bulanan durasi penyinaran matahari sebesar 4.4 jam yang dapat dilihat pada Gambar 2(f).

Jika dilihat dari segi pola rata-rata bulannya, Stasiun Klimatologi Kayuwatu mengalami dua kali puncak durasi penyinaran matahari yaitu pada bulan Mei dan Agustus



serta dua kali lembah penyinaran matahari yang terjadi pada bulan Juni dan Januari. Begitu juga pada SPAG Bukit Kototabang mengalami dua kali puncak durasi penyinaran matahari yang terjadi pada bulan Februari dan Mei dan dua kali lembah penyinaran matahari yang terjadi pada bulan Maret dan Desember. Sementara itu, Stasiun Klimatologi Banjarbaru mengalami dua kali puncak durasi penyinaran matahari pada bulan Mei dan Agustus dengan dua kali lembah pada bulan Februari dan Juni. Namun, di Pulau Baai lama penyinaran matahari yang terjadi cukup fluktuatif dari bulan ke bulan sehingga tidak tampak jelas memiliki dua puncak lama penyinaran matahari ataupun sebaliknya. Berbeda halnya dengan Kayuatu, Bukit Kototabang dan Banjarbaru, Maros hanya mengalami satu kali puncak durasi penyinaran matahari yaitu pada bulan September dan juga mengalami satu kali lembah yang terjadi pada bulan Januari. Begitupun Pondok Betung juga mengalami satu kali puncak dan satu kali lembah durasi penyinaran matahari yang secara berurutan terjadi pada bulan Agustus dan Februari.

Pada umumnya, peningkatan ataupun penurunan energi radiasi matahari hasil perhitungan sebanding dengan durasi penyinaran matahari, ketika durasi penyinaran matahari memiliki durasi yang panjang maka energi radiasi matahari aktual juga semakin besar dan sebaliknya. Akan tetapi, pada penelitian ini terdapat beberapa yang berkebalikan yang dapat dilihat pada gambar berikut ini:

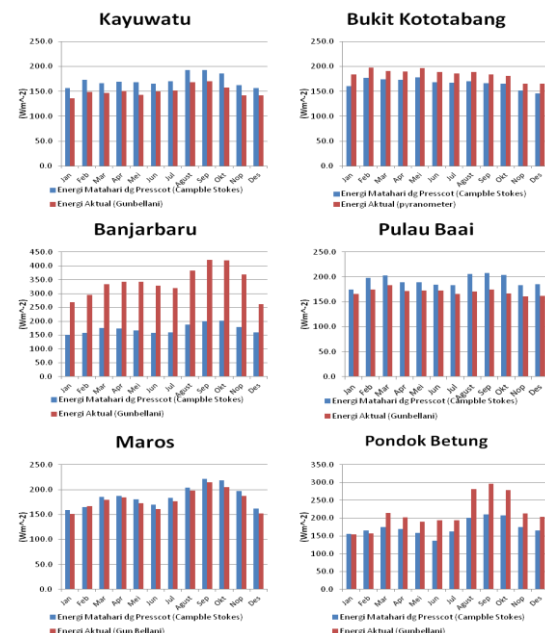


**Gambar 3.** Durasi penyinaran matahari dan energi radiasi matahari aktual. Gambar 2. (a) Kayuatu, (b) Bukit Kototabang, (c) Banjarbaru, (d) Pulau

Baai, (e) Maros, dan (f) Pondok Betung. Garis berwarna merah merupakan durasi penyinaran matahari dan *column* berwarna biru merupakan radiasi energi matahari aktual.

Dari gambar 3 di atas, tampak bahwa terdapat banyak kesamaan pola antara durasi penyinaran matahari dan radiasi matahari aktual hampir di semua lokasi penelitian. Hal ini ditandai dengan semakin lama durasi penyinaran matahari, maka semakin banyak energi yang diterima bumi. Akan tetapi semakin singkat lama durasi penyinaran matahari maka semakin sedikit juga radiasi matahari yang diterima bumi. Namun demikian, terdapat beberapa kejadian yang berkebalikan, yaitu ketika durasi penyinaran matahari meningkat tetapi energi radiasi matahari menurun dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena energi radiasi matahari yang dipancarkan matahari tidak 100% diterima bumi sehingga terdapat penyimpangan yang tidak hanya dipengaruhi oleh durasi penyinaran matahari saja tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti tutupan awan, kekeruhan atmosfer, kandungan debu serta uap air dan lainnya.

#### Pengukuran Energi Matahari dengan Metode Prescott dan Aktual



**Gambar 4.** Energi radiasi matahari dengan metode prescott dan energi radiasi matahari aktual. Gambar 4. (a) Kayuatu, (b) Bukit Kototabang, (c) Banjarbaru, (d) Pulau Baai, (e) Maros, dan (f) Pondok Betung.

*Column* berwarna biru merupakan energi radiasi matahari hasil perhitungan menggunakan metode Prescott dan *column* berwarna merah merupakan energi radiasi matahari aktual. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa perhitungan energi radiasi matahari menggunakan metode Prescott menghasilkan besaran energi radiasi matahari yang lebih tinggi dibandingkan energi radiasi matahari aktual di beberapa lokasi penelitian yaitu Pulau Baai, Maros dan Kayuwatu, akan tetapi pada lokasi lainnya hasil perhitungan energi radiasi matahari menggunakan metode Prescott lebih rendah dibandingkan hasil aktual yakni di SPAG Kototabang, Pondok Betung dan Banjarbaru.

Dilihat dari segi pola rata-rata bulanan energi radiasi matahari aktual (Gambar 3) di Kayuwatu mengalami dua kali puncak pada bulan Februari dan Agustus dan dua kali lembah pada bulan Juni dan Desember. Sementara itu, di Bukit Kototabang berdasarkan segi pola rata-rata bulanan energi radiasi matahari aktual, mengalami dua kali puncak yang terjadi pada bulan Februari dan Mei, sebaliknya juga mengalami dua kali lembah yaitu pada bulan April dan November. Di Banjarbaru, pola rata-rata bulanan energi radiasi matahari aktual mengalami puncak pada bulan Mei dan September sedangkan dua kali lembah terjadi pada bulan Juli dan Desember.

Sama halnya dengan Kayuwatu, Bukit Kototabang dan Banjarbaru, rata-rata bulanan energi radiasi matahari aktual Pulau Baai juga mengalami dua kali puncak dan dua kali lembah dengan puncak terjadi bulan Maret dan September sedangkan lembah terjadi bulan Juli dan November. Begitupun dengan Maros, mengalami dua kali puncak yaitu bulan April dan September sedangkan mengalami dua kali lembah pada bulan Juni dan Desember. Terakhir, rata-rata bulanan energi radiasi matahari aktual Pondok Betung mengalami puncak bulan Maret dan September dan lembah terjadi bulan Januari dan Juni.

Dapat dilihat pada Gambar 3, pada setiap lokasi penelitian baik puncak maupun lembah dari pola rata-rata bulanan energi radiasi matahari hasil perhitungan terjadi pada bulan yang sama dengan rata-rata bulanan energi radiasi matahari aktual kecuali Banjarbaru. Tetapi pada lokasi Bukit Kototabang, Pulau Baai dan Maros untuk lembah kedua pada energi radiasi matahari hasil perhitungan tidak terjadi pada bulan yang sama dengan yang aktual yaitu mengalami lag1 bulan untuk Bukit Kototabang

dan Maros serta lag2 bulan untuk Pulau Baai. Yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

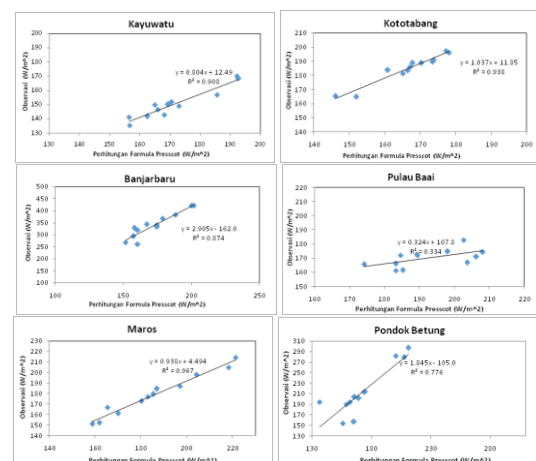
**Tabel 2.** Pola Puncak Energi Radiasi Matahari Metode Prescott Dengan Energi Radiasi Matahari Aktual.

| Stasiun                   | Aktual   |          |          |          | Perhitungan |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
|                           | Puncak 1 | Lembah 1 | Puncak 2 | Lembah 2 | Puncak 1    | Lembah 1 | Puncak 2 | Lembah 2 |
| Klimatologi Kayuwatu      | Feb      | Jun      | Agus     | Des      | Feb         | Jun      | Agus     | Des      |
| SPAG Bukit Kototabang     | Feb      | Apr      | Mei      | Nov      | Feb         | Apr      | Mei      | Des      |
| Klimatologi Banjarbaru    | Mei      | Jul      | Sep      | Des      | Mar         | Jun      | Okt      | Jan      |
| Klimatologi Pulau Baai    | Mar      | Jul      | Sep      | Nov      | Mar         | Jul      | Sep      | Jan      |
| Klimatologi Maros         | Apr      | Jun      | Sep      | Des      | Apr         | Jun      | Sep      | Jan      |
| Klimatologi Pondok Betung | Mar      | Jun      | Sep      | Jan      | Mar         | Jun      | Sep      | Jan      |

Tabel berwarna biru berarti memiliki puncak energi radiasi matahari yang sama antara perhitungan dan aktual sedangkan yang berwarna hijau berarti memiliki lembah energi radiasi matahari yang sama antara perhitungan dan aktual.

### Scatter Plot Energi Radiasi Matahari

Berdasarkan gambar dibawah ini bahwa seluruh lokasi penelitian memiliki hubungan yang linear atau berbanding lurus antara perhitungan energi radiasi matahari menggunakan metode Prescott dengan radiasi matahari aktual dimana ketika energi radiasi matahari hasil perhitungan meningkat maka energi radiasi matahari aktual juga meningkat dan sebaliknya. Hal ini ditandai dengan *slope* yang bernilai positif.



**Gambar 5.** Scatter Plot energi radiasi matahari metode prescott dengan aktual

Secara umum pola antara rata-rata energi radiasi bulanan hasil perhitungan dengan aktual memiliki pola yang sama. Hal ini didukung dengan nilai korelasi antara energi radiasi matahari bulanan hasil perhitungan dengan energi radiasi matahari aktual di masing-masing lokasi penelitian pada tabel berikut ini :

**Tabel 3.** Korelasi Energi Radiasi Matahari Metode Prescott Dengan Energi Radiasi Matahari Aktual

| Stasiun                   | Korelasi (r) |
|---------------------------|--------------|
| Klimatologi Kayuatu       | 0.95         |
| PAG Bukit Kototabang      | 0.97         |
| Klimatologi Banjarbaru    | 0.94         |
| Klimatologi Pulau Baai    | 0.58         |
| Klimatologi Maros         | 0.98         |
| Klimatologi Pondok Betung | 0.88         |

Pada Tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai korelasi energi radiasi matahari bulanan hasil perhitungan dengan energi radiasi matahari aktual berkisar antara 0.58 sampai 0.98 atau korelasi sedang hingga tinggi. Nilai korelasi tertinggi pada Stasiun Klimatologi Maros dan terendah di Pulau Baai. Nilai korelasi energi radiasi matahari bulanan hasil perhitungan dengan aktual memiliki nilai positif yang berarti memiliki hubungan yang searah. Ketika energi radiasi matahari bulanan aktual meningkat maka energi radiasi matahari hasil perhitungan juga meningkat dan begitu sebaliknya.

Rentangan nilai error energi radiasi matahari antara perhitungan menggunakan metode Presscot dengan aktual dapat dilihat pada Gambar 4 yaitu rentangan nilai error pada lokasi penelitian cukup bervariasi. Nilai error di Kayuatu berkisar antara 15.06 hingga 28.51, pada SPAG Bukit Kototabang berkisar 12.87 hingga 22.88, di Banjarbaru berkisar antara 100.44 hingga 221.42, di Pulau Baai berkisar antara 8.61 hingga 36.80, Maros memiliki rentang error antara 1.69 hingga 13.51 sedangkan di Pondok Betung rentang error berkisar antara 1.89 hingga 85.76.

Tidak hanya nilai korelasi dan rentangan error, nilai RMSE dan MAE antara energi radiasi matahari hasil perhitungan dengan aktual dapat dijadikan pertimbangan dalam menentukan metode Prescott dapat digunakan atau tidak untuk menghitung energi radiasi matahari jika hanya menggunakan durasi penyinaran matahari saja pada lokasi penelitian. Nilai RMSE dan MAE dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.** RMSE dan MAE Energi Radiasi Matahari Metode Prescott Dengan Energi Radiasi Matahari Aktual

| Stasiun                   | RMSE   | MAE    |
|---------------------------|--------|--------|
| Klimatologi Kayuatu       | 21.41  | 21.07  |
| SPAG Bukit Kototabang     | 18.35  | 18.18  |
| Klimatologi Banjarbaru    | 170.92 | 167.23 |
| Klimatologi Pulau Baai    | 23.84  | 22.23  |
| Klimatologi Maros         | 15.69  | 7.23   |
| Klimatologi Pondok Betung | 50.04  | 43.25  |

Berdasarkan Tabel 4. nilai RMSE dan MAE cukup kecil pada beberapa lokasi penelitian yaitu Kayuatu, Bukit Kototabang, Pulau Baai dan Maros sedangkan dua lokasi lainnya memiliki RMSE yang cukup tinggi yaitu Pondok Betung dan Banjarbaru dengan RMSE terkecil adalah Maros dan tertinggi Banjarbaru.

Pada kondisi dimana nilai korelasi baik hingga sangat baik akan tetapi memiliki nilai RMSE dan MAE yang cukup tinggi, disarankan untuk melakukan koreksi dalam perhitungan energi matahari berdasarkan lama penyinaran matahari berupa nilai koreksi seperti yang terjadi di Banjarbaru. Dengan demikian diharapkan nilai kesalahan dapat diminimalisir.

### Kesimpulan

1. Perhitungan energi matahari dengan metode Prescott dengan energi aktual memiliki nilai korelasi yang tinggi di 5 stasiun diantaranya di Staklim Kayuatu, SPAG Kototabang, Staklim Banjarbaru, Staklim Maros, dan Staklim Pondok Betung. Hal ini menunjukkan nilai perhitungan energi matahari dengan metode Prescott memiliki pola yang sangat mirip dengan energi aktualnya.
2. Perhitungan energi matahari menggunakan metode Prescott dengan energi aktual memiliki nilai RMSE yang rendah di 4 stasiun diantaranya di Staklim Kayuatu, SPAG Kototabang, Staklim Pulau Baai, dan Staklim Maros. Hal ini menunjukkan selisih perhitungan yang rendah yang berarti nilai yang ditunjukkan dengan metode Prescott sudah mendekati energi radiasi matahari aktualnya. Sedangkan pada kedua stasiun lainnya yaitu staklim Banjarbaru dan staklim Pondok betung menunjukkan selisih nilai yang cukup besar.
3. Berdasarkan nilai korelasi dan RMSE di 6 (enam) stasiun, diketahui bahwa perhitungan energi matahari dengan metode Prescott baik untuk digunakan di

Staklim Kayuwatu, SPAG Kototabang, dan Staklim Maros karena memiliki nilai korelasi yang tinggi dan RMSE yang kecil. Untuk Staklim Banjarbaru dan Staklim Pondok Betung memiliki korelasi yang tinggi, namun memiliki RMSE yang tinggi juga. Hal ini menunjukkan terdapat suatu nilai koreksi perhitungan energi matahari dengan metode Prescott terhadap aktualnya. Sedangkan untuk Staklim Pulau Baai meskipun memiliki nilai korelasi yang sedang, namun nilai RMSE yang rendah menunjukkan kedekatan nilai antara perhitungan energi matahari menggunakan metode Prescott dengan energi aktualnya.

#### **Daftar Pustaka**

BMKG. 2016. *Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Nomor 4 Tahun 2006 Tentang Pengamatan dan Pengelolaan Data Iklim di Lingkungan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*. BMKG.

Musrawati. 2014. *Analisis Potensi Energi Radiasi Matahari di Wilayah Sulawesi*. Tangerang: STMKG.

Riduwan, (2003), *Dasar-Dasar Statistik*, Bandung, Alfabeta.

World meteorological organization. 2014. *The Commission for Instrument and Methods of Observation* (CIMO-16). Geneva.

[https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/Provis2014Ed/Provisional2014Ed\\_P-I\\_Ch-8.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/Provis2014Ed/Provisional2014Ed_P-I_Ch-8.pdf) diakses pada Agustus 2016

<http://gisgeography.com/mean-absolute-error-mae-gis/> diakses pada Agustus 2016

## Pengaruh *Southerly Surge* Terhadap Curah Hujan di Wilayah Nusa Tenggara Timur Pada Bulan Januari 2007

Taryono<sup>1</sup>, Natalia Eunike Ruwe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sub Bidang Prediksi Cuaca, BMKG Jakarta

<sup>2</sup>Stasiun Meteorologi Wai Oti Maumere NTT

**Abstrak.** Wilayah dengan tipe hujan monsun pada umumnya memiliki puncak curah hujan pada bulan Januari. Namun pada bulan Januari 2007, sebagian besar wilayah dengan tipe curah hujan monsun mengalami anomali negatif, yang berarti terjadi penurunan curah hujan. Berdasarkan penelitian Taryono (2012), aktifitas *southerly surge* berpengaruh terhadap penurunan curah hujan atau fase *break* monsun di Pulau Jawa. Oleh sebab itu dilakukan penelitian untuk mengetahui keterkaitan antara aktifitas *southerly surge* terhadap penurunan curah hujan Januari 2007 khususnya di Nusa Tenggara Timur. Indeks *southerly surge* ditentukan dengan cara menghitung variansi angin meridional harian rata-rata bulan Januari 1980-2010 sehingga memperoleh indeks *surge* 11,5 m/s. Pada bulan Januari 2007 terdapat dua kali kejadian *southerly surge*, yaitu pada tanggal 3 dan 11 Januari 2007. Hasil analisis keduanya menunjukkan bahwa penurunan curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur disebabkan oleh aktifitas *southerly surge*. *Southerly surge* ini menggeser *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ke utara sehingga menyebabkan penurunan curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur, sebagai akibat dari tertahannya massa udara basah dari Belahan Bumi Utara dan masuknya massa udara kering dan dingin dari Belahan Bumi Selatan. **Kata kunci:** monsun, *southerly surge*, *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)*, fase *break* monsun.

**Abstract** The region with monsoonal type has rainfall peak on January. However, on January 2007, monsoonal type region has negative anomaly, it means that there is a decreasing rainfall. Based on research of

Taryono (2012), *southerly surge* activity influenced to the decreasing of rainfall of monsoon break phase at Java island. Therefore, this research was conducted to understand the relation between *southerly surge* activity to the decreasing of rainfall in January 2007, especially at East Nusa Tenggara. *Southerly surge* index was conducted by calculating the variance of daily average meridional wind during January 1980-2010, therefore found the surge indices 11,5 m/s. In January 2007 occurs 2 phenomena of *southerly surge* on January, 3rd and 11th 2007. The result both of those days show that the decreasing of rainfall in East Nusa Tenggara caused by *southerly surge* activity which is replacing monsoon through Northward, therefore causes the decreasing of rainfall in East Nusa Tenggara as the effects of the restrained of moist air from Northern hemisphere and the coming of dry and cold air from Southern hemisphere. **Keywords:** monsoon, *southerly surge*, *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)*, phase of monsoon break.

---

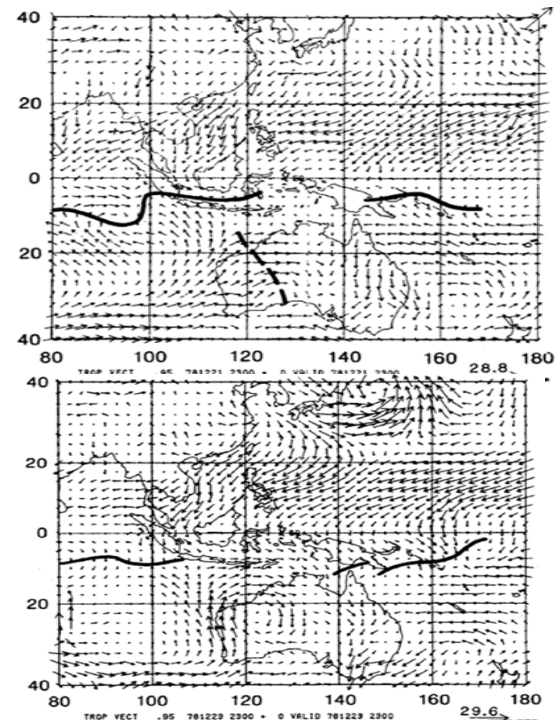
### Pendahuluan

Wilayah Indonesia terletak diantara dua sistem monsun utama dunia yaitu monsun Asia dan Australia. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan sistem tekanan udara di Benua Asia dan Benua Australia secara periodik. Kedua sistem monsun ini memegang peranan penting terhadap distribusi curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia, khususnya wilayah dengan tipe curah hujan monsun. Aktifitas monsun sering diasosiasikan dengan adanya gangguan sinoptik (*synoptic disturbance*)

pada wilayah yang dilaluinya yang menyebabkan terjadinya hujan lebat yang bergerak merambat ke seluruh wilayah monsun. Sirkulasi Monsun Asia ditandai dengan menguatnya aktifitas angin baratan di bagian selatan ekuator wilayah Indonesia, yang terjadi sekitar awal Desember dan berakhir pada akhir Februari bahkan hingga pertengahan Maret (Kajikawa, dkk., 2009). Terjadinya aktifitas Monsun Asia ini membawa massa udara yang kaya uap air ke wilayah Indonesia sehingga sering diasosiasikan dengan terjadinya musim hujan pada sebagian besar wilayah di Indonesia.

Distribusi curah hujan di wilayah Indonesia dengan tipe hujan monsun sangat dipengaruhi oleh aktifitas Monsun Asia. Namun tidak selamanya kondisinya berlangsung normal. Hal ini disebabkan oleh gangguan cuaca lainnya yang menyebabkan anomali tersebut. Salah satu gangguan cuaca yang diduga menyebabkan anomali tersebut adalah aktivitas *southerly surge*. Menurut penelitian yang dilakukan Amelia (2010), adanya *southerly surge* yang menjalar ke arah equator merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan curah hujan di sebagian wilayah Indonesia pada bulan Januari. Sedangkan menurut Hermawanto (2011), adanya penguatan angin selatan (*southerly surge*) dari sekitar pantai barat Australia yang menyebabkan terjadinya periode *break* saat Monsun Asia.

*Southerly surge* merupakan gejala meteorologis yang mirip dengan *cold surge* yang berasal dari selatan. Massa udara ini dibawa dari lintang menengah Belahan Bumi Selatan (BBS) yang menjalar menuju equator. *Surge* yang berasal dari pantai barat Australia berpengaruh terhadap aktifitas monsun selama musim panas. Pada saat puncak monsun Australia, *surge* dari pantai barat Australia datang bersamaan dan hal ini mempengaruhi aktifitas konvektif di wilayah Monsun Australia. (Davidson, dkk., 1983). *Surge* ini merupakan aliran angin geostropik yang disebabkan oleh gradient tekanan timur-barat yang lemah di sekitar pantai barat Australia, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.

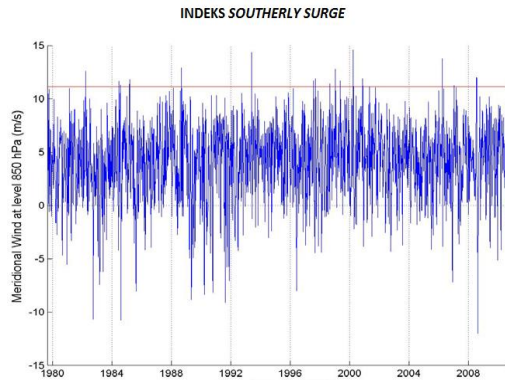


Gambar 1. Kondisi sinoptik pada perkembangan *southerly surge* tanggal 22 (atas) dan 24 (bawah) Desember 1978 (Sumber : Davidson, dkk., 1983 )

Penelitian yang dilakukan (Fukutomi dan Yasunari, 2005) memperlihatkan bahwa saat *southerly surge* di timur India terdapat gelombang angin meridional dari ekstratropis menuju tropis. Pada saat *onset surge*, aliran angin tenggara-selatan dari subtropis Belahan Bumi Selatan menuju selatan Teluk Benggala di sekitar timur Samudera Hindia. Aliran dari *surge* ini bertemu dengan aliran Monsun baratan Asia yang diperpanjang dari laut Arab sampai Filipina.

Untuk melihat penalaran dari aktifitas *southerly surge* digunakan indeks *southerly surge* dengan berdasarkan parameter angin. (Fukutomi dan Yasunari, 2005) menentukan indeks *southerly surge* dengan menghitung varian dari angin meridional harian rata-rata. Taryono (2012) telah menentukan indeks *southerly* dengan menggunakan kriteria angin, dimana berdasarkan intensitasnya yaitu intensitas kuat ( $>13.1$  m/s), intensitas sedang (12.1-13 m/s) dan intensitas lemah (11.1-12 m/s). Dalam penelitiannya juga, Taryono (2012) melihat bahwa *southerly surge* tidak hanya terjadi pada saat monsun Australia, tetapi dapat juga terjadi pada saat monsun Asia atau bersamaan dengan aktifitas *cold surge*.





Gambar 2. Indeks Southerly Surge. Warna merah menunjukan batas indeks yaitu 11,1 m/s (sumber: Taryono, 2012)

Dalam Penelitian yang dilakukan Taryono (2012), telah membuat indeks *southerly surge* berdasarkan intensitasnya menjadi kuat, sedang dan lemah. Dimana semakin kuat intensitasnya maka semakin besar dampaknya terhadap penurunan curah hujan di Pulau Jawa pada bulan Januari. Berangkat dari hal tersebut maka penting untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh atau dampak aktifitas *southerly surge* terhadap distribusi curah hujan di wilayah lainnya di luar wilayah Jawa. Penelitian ini bertujuan untuk memahami keterkaitan antara aktifitas di wilayah Nusa Tenggara Timur pada bulan Januari 2007 dengan harapan dapat menambah pemahaman mengenai fenomena tersebut, mengingat aktifitas *southerly surge* ini belum banyak yang mengkaji.

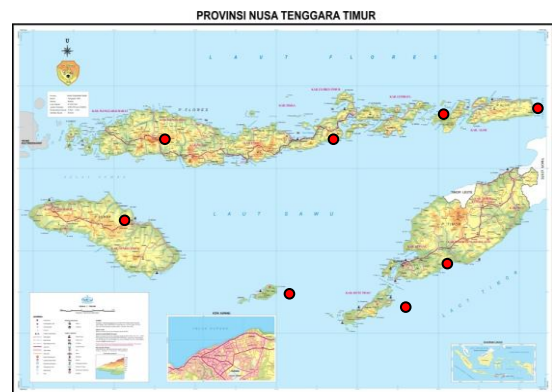
## Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data curah hujan observasi harian bulan Januari 2007 yang di dapat dari BMKG. Untuk data curah hujan observasi harian digunakan data dari delapan stasiun pengamat curah hujan yang ada di wilayah Nusa Tenggara Timur yaitu di wilayah Ruteng, Rote, Kupang, Maumere, Waingapu, Sabu, Lewoleba dan Alor.
2. Data Angin dan Kelembaban Spesifik Reanalisis (ERA-Interim ECMWF). Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data angin (u dan v) 24 jam dan data kelembaban spesifik (q) pada lapisan standar (850, 700, 500, 300 dan 200 mb) dengan resolusi  $0,025^\circ \times 0,025^\circ$ . Data angin reanalisis ini nantinya digunakan untuk melakukan identifikasi kejadian *southerly surge* serta untuk menggambarkan pola angin saat periode

*southerly surge*. Data kelembaban spesifik digunakan untuk mengetahui transport kelembaban (uap air) pada saat periode kejadian *southerly surge*. Data dapat diperoleh pada <http://data-portal.ecmwf.int/>

3. Data Satelit TRMM  
Data satelit TRMM Januari 2007 yang diunduh dari <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation> dengan resolusi spasial  $0.025^\circ \times 0.025^\circ$  dan resolusi temporal 24 jam.

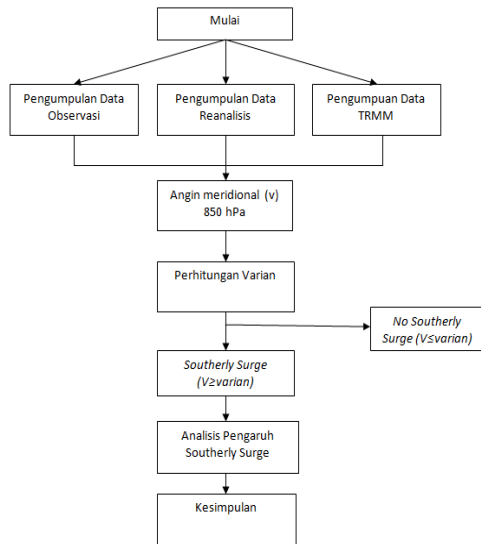


Gambar 3. Lokasi delapan pos pengamatan curah hujan yang digunakan dalam penelitian, yaitu Ruteng, Rote, Kupang, Maumere, Waingapu, Sabu, Lewoleba dan Alor

Tahap pertama pada penulisan ini ialah mengidentifikasi kejadian *southerly surge* dengan kriteria angin, yaitu metode yang dikembangkan oleh Fukutomi dan Yasunari dalam mengidentifikasi *southerly surge* di Timur Samudera India. Metode ini diterapkan untuk peristiwa *southerly surge* di barat Australia atau selatan Indonesia dengan alasan karena terjadi pada bagian belahan bumi yang sama yaitu di Belahan Bumi Selatan (BBS).

Salah satu metode identifikasi *southerly surge* yaitu dengan cara menghitung variansi angin meridional (v) rata-rata harian pada daerah *surge* ( $15-30^\circ\text{LS}$  dan  $105-115^\circ\text{BT}$ ). Jika angin meridional rata-rata hariannya lebih besar dari nilai varian, maka diidentifikasi sebagai kejadian *southerly surge*. Pada *streamline*, kejadian *southerly surge* ditandai dengan penguatan angin selatan dari Samudera Hindia sebelah Barat Australia menuju ekuator Indonesia yang menyebabkan pergeseran *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ke arah Belahan Bumi Utara. Setelah mengidentifikasi kejadian *southerly surge* untuk kejadian bulan Januari 2007, dilakukan analisis untuk pola angin meridional pada lapisan 850mb dan transport kelembaban untuk mengetahui penjalaran

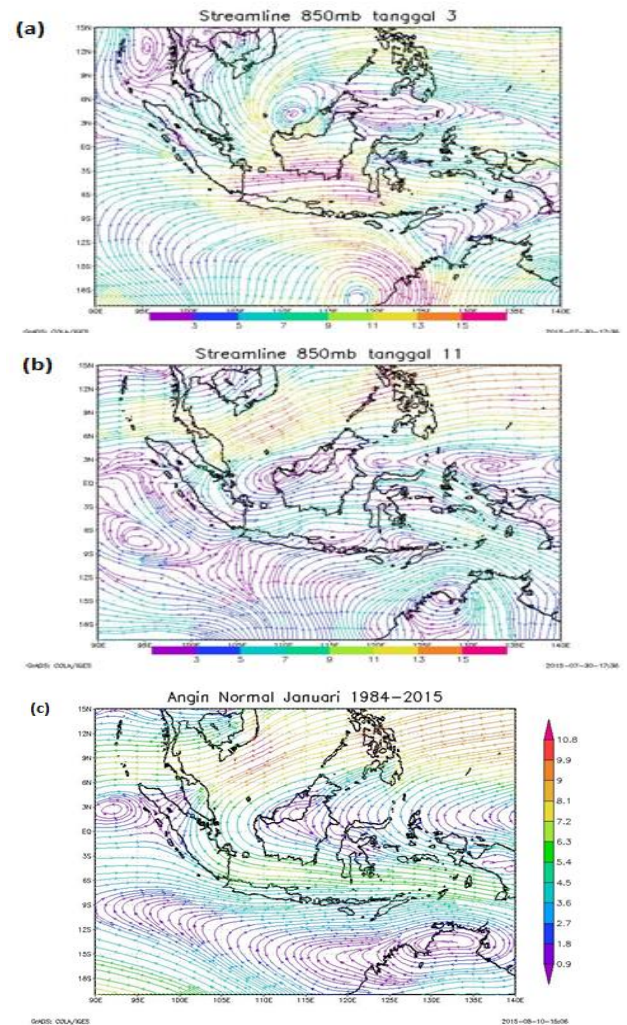
*southerly surge* serta dampaknya terhadap curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## Hasil dan Pembahasan

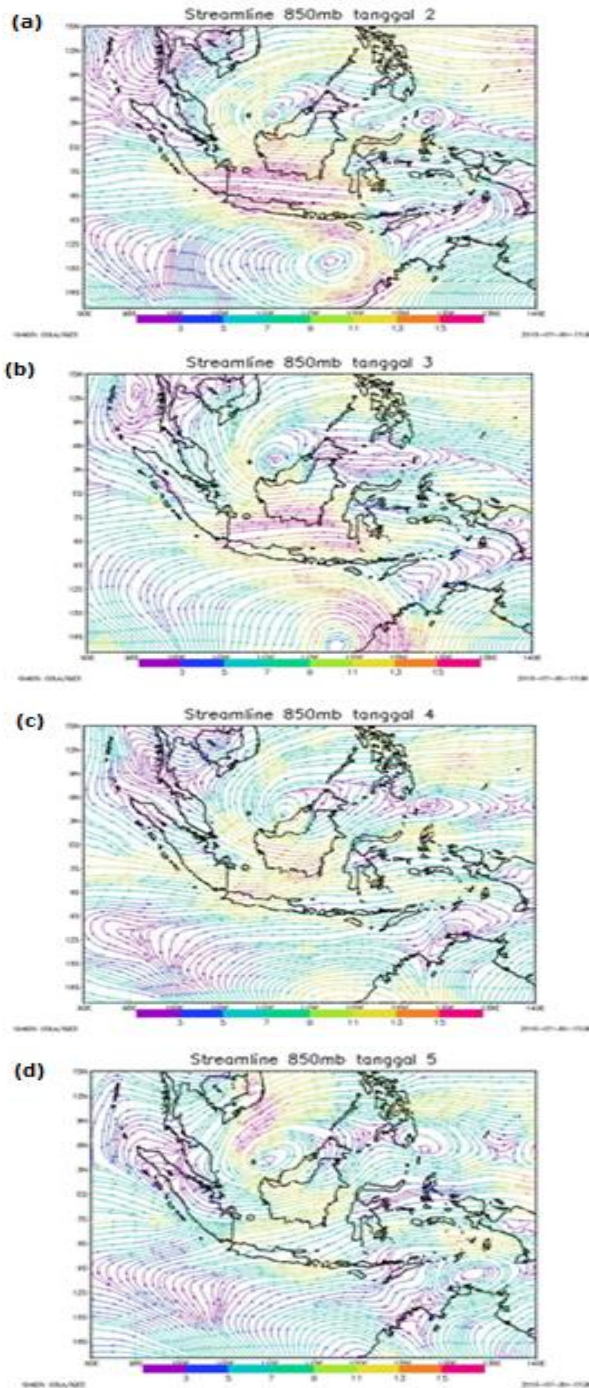
*Southerly Surge* yang teridentifikasi pada bulan Januari 2007 sebanyak 2 kejadian tetapi keduanya memiliki pola angin synoptik yang berbeda. Untuk kasus pertama yaitu kejadian *southerly surge* tanggal 3 Januari 2007 memiliki pola angin yang hampir sama dengan pola angin normalnya pada bulan Januari. Namun *southerly surge* ini berhasil menyebabkan pergeseran *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ke arah Belahan Bumi Utara. Sedangkan pada kasus kedua yaitu kejadian *southerly surge* tanggal 11 Januari 2007 memiliki pola yang lebih kompleks dan berbeda dengan pola angin normalnya pada bulan Januari. Perbedaan pola angin synoptik ini dipengaruhi oleh adanya beberapa pusat tekanan rendah dan *eddy* di sekitar Indonesia. Walaupun terdapat perbedaan pola angin sinoptik pada kedua kejadian *southerly surge* tersebut, keduanya sama-sama mempengaruhi letak *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* yang bergeser. Pergeseran *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ini dapat mengakibatkan fase *break* di wilayah Indonesia bagian selatan pada saat monsun Asia di Belahan Bumi Utara.



Gambar 5. Pola angin saat *southerly surge* pada (a) tanggal 3 Januari 2007, (b) tanggal 11 Januari 2007 dan (c) Angin Normal Januari 1984-2015.

Pada kejadian *southerly surge* tanggal 3 Januari 2007, penjalaran angin selatan dari Samudera Hindia sebelah Barat Australia cukup kuat. Selain menggeser *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ke utara, juga diduga merupakan salah satu penyebab bertahan lamanya pusaran di sebelah Barat Laut Kalimantan atau yang dikenal dengan nama *Borneo Vortex*, sebagai akibat dari interaksi antara angin monsun dari Belahan Bumi Utara dengan angin selatan yang cukup kuat.

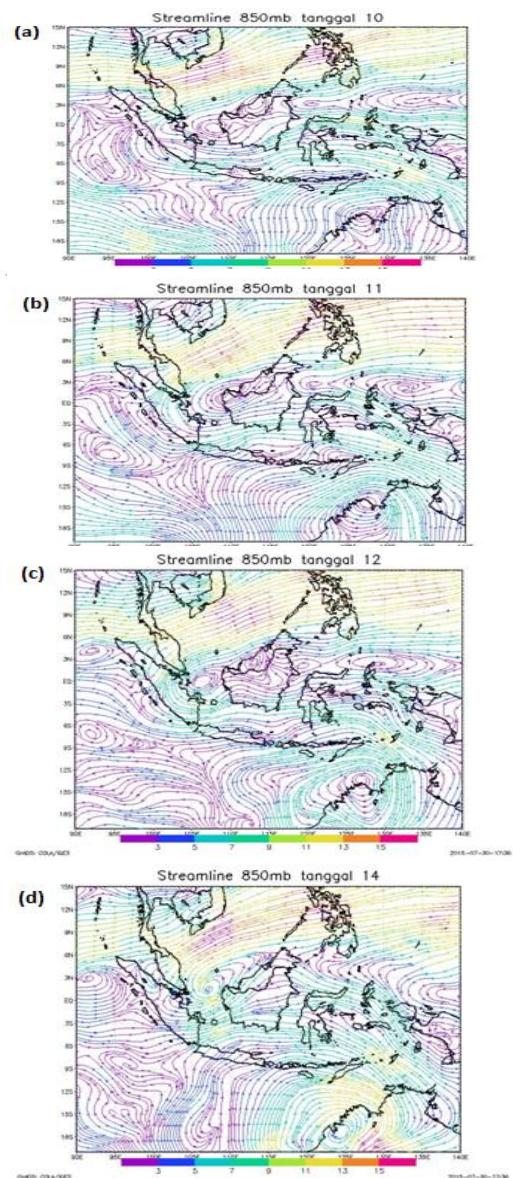




Gambar 6. Pola angin saat *southerly surge* pada (a) 1 hari sebelum, (b) saat kejadian 3 Januari 2007, (c) 1 hari sesudah dan (d) 2 hari sesudah

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa penjalaran angin selatanan dari Samudera Hindia sebelah Barat Australia yang menyebabkan pergeseran *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) ke arah akuator dan semakin bergeser ke arah utara. Posisi *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) pada bulan Januari atau saat matahari di Belahan Bumi Selatan adalah pada  $5^{\circ}\text{LS}$  hingga  $10^{\circ}\text{LS}$ , namun pada saat terjadi *southerly surge*

posisi *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) bergeser sekitar  $3^{\circ}\text{LS}$ . Pada umumnya, angin dominan di Nusa Tenggara Timur pada bulan Januari atau saat Monsun Asia adalah angin baratan. Namun, dapat dilihat bahwa pada satu hari sebelum sampai dua hari sesudah terjadinya *southerly surge*, pola angin di Nusa Tenggara Timur cenderung variatif dari utara, kemudian dari barat dan dari selatan. Sedangkan pada kejadian *southerly surge* tanggal 11 Januari 2007, pola angin synoptiknya terlihat lebih kompleks. Hal ini disebabkan oleh munculnya beberapa pusaran pusat tekanan rendah dan *eddy* di sekitar wilayah Indonesia.



Gambar 7. Pola angin saat *southerly surge* pada (a) 1 hari sebelum, (b) saat kejadian 11 Januari 2007, (c) 1 hari sesudah dan (d) 2 hari sesudah

Berdasarkan gambar di atas, pola angin di Nusa Tenggara Timur pada satu hari sebelum terjadi *southerly surge* masih angin baratan, pada saat terjadi *southerly surge* sampai satu hari sesudahnya didominasi oleh angin dari barat daya, dan pada hari kedua sesudah *southerly surge* anginnya dari barat laut. Pola angin yang variatif ini selain disebabkan oleh *southerly surge*, juga disebabkan oleh fenomena synoptik di sekitar wilayah Indonesia.

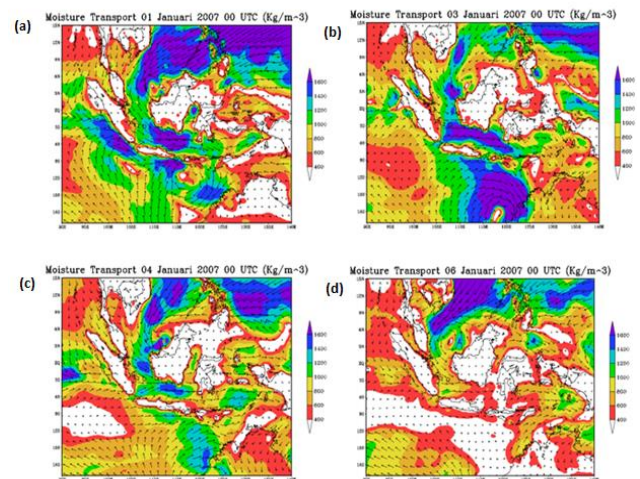
Pada bulan Januari 2007 terjadi penurunan curah hujan pada sebagian besar wilayah Nusa Tenggara Timur. Curah hujan di Nusa Tenggara Timur mengalami penurunan sebesar 50-250 mm/bulan. Penurunan curah hujan ini dipicu oleh adanya fenomena *southerly surge* yang menjalar ke ekuator dan menggeser *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ke utara sehingga massa udara dari Belahan Bumi Utara tertahan di Utara Kalimantan dan Sumatera. Selain itu, adanya *Borneo Vortex* juga menahan penjalaran uap air dari Belahan Bumi Utara ke selatan Indonesia, termasuk wilayah Nusa Tenggara Timur.

Tabel 1. Penurunan Curah Hujan Bulan Januari 2007 di Wilayah Nusa Tenggara Timur

| No.       | Lokasi   | CH Januari 2007 (mm) | CH Normal Januari (mm) | Penurunan CH (%) |
|-----------|----------|----------------------|------------------------|------------------|
| 1         | Ruteng   | 169                  | 449                    | 68,8             |
| 2         | Rote     | 134                  | 356                    | 62,4             |
| 3         | Kupang   | 156                  | 341                    | 54,3             |
| 4         | Maumere  | 91                   | 175                    | 44,8             |
| 5         | Waingapu | 90                   | 161                    | 44,1             |
| 6         | Sabu     | 168                  | 287                    | 41,5             |
| 7         | Lewoleba | 92                   | 156                    | 41               |
| 8         | Alor     | 175                  | 264                    | 33,7             |
| Rata-rata |          | 130,9                | 272,7                  | 48,8             |

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rata-rata curah hujan yang cukup besar di wilayah Nusa Tenggara Timur pada bulan Januari 2007, yaitu sebesar 48,8%. Penurunan curah hujan terkecil terjadi di Alor yaitu turun sebanyak 33,7%, sedangkan penurunan curah hujan terbesar terjadi di Ruteng dengan penurunan 68,8% dari curah hujan normal bulan Januari. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan curah hujan bulan Januari 2007 terjadi di sebagian besar wilayah Nusa Tenggara Timur. Penurunan curah hujan di wilayah Indonesia, tepatnya di wilayah Nusa Tenggara Timur berkaitan

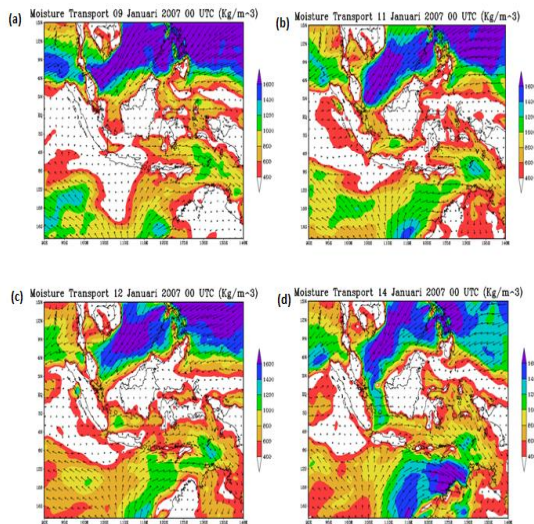
dengan transpor kelembaban level rendah di wilayah tersebut. Jika massa udara basah dari Belahan Bumi Utara yang menjalar ke Belahan Bumi Selatan (*cross equatorial moisture transport*) tertahan di ekuator, maka wilayah Indonesia bagian selatan yang curah hujannya bergantung pada aktifitas monsun akan kekurangan uap air dan menyebabkan penurunan curah hujan. Hal ini semakin diperburuk dengan masuknya massa udara dingin dan kering dari Belahan Bumi Selatan ke wilayah Indonesia sehingga menghambat aktifitas konveksi di wilayah ini.



Gambar 8. Moisture Transport pada (a) 2 hari sebelum, (b) saat kejadian 3 Januari 2007, (c) 1 hari sesudah, (d) 3 hari sesudah.

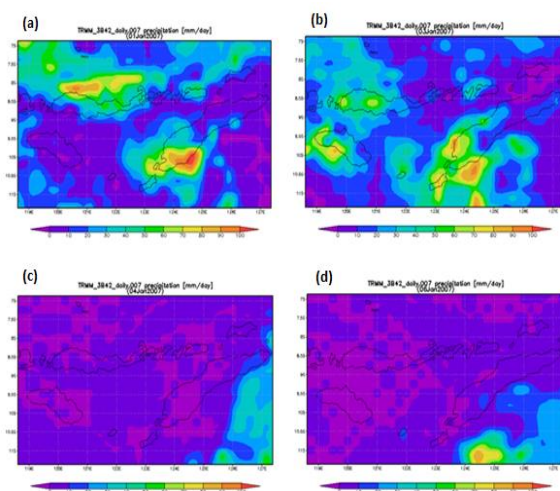
Berdasarkan gambar di atas, 2 hari sebelum dan pada saat kejadian *southerly surge* tanggal 3 Januari 2007, wilayah Nusa Tenggara Timur masih cenderung basah karena mendapat pasokan uap air dari Belahan Bumi Utara. Namun pada 1 hari dan 3 hari sesudahnya, wilayah Nusa Tenggara Timur menjadi cenderung kering karena desakan *southerly surge* menggeser *Intertropical Convergence Zone (ITCZ)* ke utara dan adanya *Borneo Vortex* di pantai Barat Kalimantan sehingga pasokan uap air dari Belahan Bumi Utara tidak dapat mencapai wilayah Nusa Tenggara Timur. Sedangkan massa udara yang masuk ke wilayah Nusa Tenggara Timur berasal dari pantai barat Australia yang membawa massa udara kering.





Gambar 9. Moisture Transport pada (a) 2 hari sebelum, (b) saat kejadian 11 Januari 2007, (c) 1 hari sesudah, (d) 3 hari sesudah

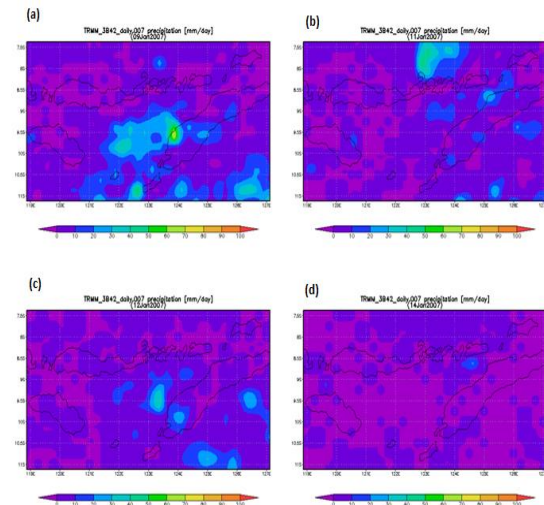
Sedangkan pada kejadian *southerly surge* tanggal 11 Januari 2007, sejak 2 hari sebelum kejadian *southerly surge* sampai 3 hari sesudahnya, transpor kelembaban berasal dari Belahan Bumi Selatan, sehingga wilayah Nusa Tenggara Timur tidak mendapat pasokan uap air dari Belahan Bumi Utara yang tertahan oleh *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) di utara dan *Borneo Vortex*. Akibat dari pergeseran *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) dan aktifitas konveksi yang terhambat di daerah penjalaran *southerly surge*, wilayah Nusa Tenggara Timur mengalami penurunan curah hujan yg cukup drastis, seperti yang terlihat pada gambar 10 di bawah ini



Gambar 10. Distribusi Curah Hujan pada (a) 2 hari sebelum, (b) saat kejadian tanggal 3 Januari 2007, (c) 1 hari sesudah dan (d) 3 hari sesudah.

Pada 2 hari sebelum *southerly surge* dan saat kejadian *surge*, curah hujan di

wilayah Nusa Tenggara Timur masih cukup besar dan mencapai lebih dari 100 mm. Namun pada hari pertama setelah *southerly surge* barulah terlihat dampaknya terhadap penurunan curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur. Pada hari ketiga sesudah *southerly surge*, curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur semakin menurun.



Gambar 11. Distribusi Curah Hujan pada (a) 2 hari sebelum, (b) saat kejadian 11 Januari 2007, (c) 1 hari sesudah dan (d) 3 hari sesudah

Pada kejadian *southerly surge* tanggal 11 Januari 2007, wilayah Nusa Tenggara Timur masih cenderung kering karena pengaruh kejadian *southerly surge* sebelumnya. Namun kejadian *southerly surge* yang beruntun ini membuat curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur semakin menurun. Penurunan curah hujan baru terlihat satu hari setelah kejadian *southerly surge* dan terus bertahan beberapa hari menunjukkan bahwa dampak *southerly surge* terhadap penurunan curah hujan di Nusa Tenggara Timur memerlukan waktu lebih dari satu hari.

## Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Aktivitas *southerly surge* menyebabkan perbedaan pola angin pada bulan Januari 2007 jika dibandingkan dengan rata-ratanya.
- Aktivitas *southerly surge* pada bulan Januari 2007 menggeser posisi *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) ke arah utara sehingga menghambat *cross equatorial moisture transport* dari Belahan Bumi Utara ke Belahan Bumi Selatan untuk masuk ke wilayah Nusa Tenggara Timur.

- Kejadian *southerly surge* menyebabkan penurunan curah hujan di wilayah Nusa Tenggara Timur. Namun dampak aktivitas *southerly surge* terhadap penurunan curah hujan memerlukan *time lag* satu sampai dua hari.

#### Daftar Pustaka

Aldrian, E., Susanto, R.D., 2003. Identification of Three Dominant Rainfall Regions Within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *Int. J. Climatology*. 23: 1435-1452.

Amelia, Y., 2010. Kajian Variasi Pola Curah Hujan Januari di Wilayah Monsun Asia-Australia dan Keterkaitannya dengan Fenomena *Southerly Surge*, Tugas Akhir Program Studi Meteorologi ITB.

Chang, C.P., arr, P.A., dan J. McBride., 2004: Maritime Contient Monsoon. East Asian Monsoon. World Scientific, in press.

Davidson, N.E., J.L. McBride., B. J. McAvaney, 1983. The Onset of The Australian Monsoon During Winter Monex: Synoptic Aspects. *Monthly. Weather Review*. Vol. 111.496-516.

Fukutomi, Y., dan Yasunari, T., 2005. *Southerly Surges on Submonthly Time Scales over the Eastern Indian Ocean during the Southern Hemisphere Winter*. *Monthly Weather Review*, 133;1637-1629.45

Hermawanto, A. 2011. Kajian Periode Break Saat Berlangsungnya Monsun Asia Musim Dingin Di Wilayah Indonesia, Tesis Institut Teknologi Bandung, Bandung

Kajikawa Y., Bin Wang and Jing Yang. 2009. A Multi-time Scale Australian Monsoon Index. *International Journal of Climatology*. DOI : 10.1002/joc.1955

Prawiwardoyo, S. 1996. Meteorologi. Penerbit ITB.

Ramage, C. S., 1971. Monsoon Meteorology. *International Geophysics Series*. Vol. 15. Academic Press

Ratag, Mezak A., 2008. Dasar-dasar Fisika Monsun. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.

Suppiah, Wu. 1998: Surges, cross-equatorial flows and their links with the Australian

Summer Monsoon Circulation and Rainfall. *Australian Meteorological Magazine* 47:2

Taryono, 2012. Kajian Aktifitas Cold Surge dan Souterly Surge Saat Monsun Asia Musim Dingin di Wilayah Jawa, Tesis Institut Teknologi Bandung, Bandung

Tjasyono, Bayong H.K., dan Woro, Sri B.H., 2008. Meteorologi Indonesia 2: Awan dan Hujan Monsun. Jakarta: Penerbit Badan Meteorologi dan Geofisika

Webster, P.J. and Fasullo, J. 2003 : Monsoon/ Dynamical Theory. *Encyclopedia of Atmospheric Science*. Elsevier Science, 1370-1386.

## Studi Variasi Spasial Parameter Seismotektonik Untuk Mengetahui Kondisi Stress Lokal Tektonik dan Tingkat Keaktifan Kegempaan Di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya

Furqon Dawam Raharjo<sup>1</sup>, dan Rahmat Triyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Stasiun Geofisika Klas I Padang Panjang

**Abstrak.** Variasi spasial parameter seismotektonik. *a* dan *b* value dapat menggambarkan kondisi stress tektonik dan tingkat keaktifan seismik disuatu wilayah. *a* dan *b* value merupakan tingkat aktivitas seismik dan karakteristik seismotektonik di suatu wilayah. *a* value yang rendah mencerminkan tingkat keaktifan kegempaan yang rendah dan sebaliknya pada *a* value yang tinggi, sedangkan *b* value yang rendah dapat menggambarkan kondisi stress lokal tektonik yang tinggi dan sebaliknya pada *b* value tinggi. Pada studi ini, menggunakan katalog dari BMKG dan NEIC/USGS periode observasi 1 januari 1973 – 31 desember 2010 dengan batas koordinat 2 LU – 4 LS dan 94 BT – 104 BT meliputi wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya. Untuk menentukan variasi spasial parameter seismotektonik menggunakan software ZMAP (Wiemer and Wyss, 2002). Dari analisis didapatkan variasi spasial *b*-value berkisar 0.6 – 2.0 dan nilai *a*-value berkisar 4 – 11. Kondisi stress lokal yang tinggi (*low b*-value) teramati disekitar Kep.Mentawai, pulau Nias bagian selatan dan disepanjang bukit barisan Sumatera Barat dan kondisi stress lokal yang rendah (*high b*-value) teramati dibagian barat-barat laut pulau Nias dan disepanjang bukit barisan Sumatera bagian utara. Sedangkan tingkat keaktifan kegempaan yang rendah terjadi di kep.Mentawai dan tingkat keaktifan kegempaan yang tinggi terjadi di barat-barat laut pulau Nias dan disepanjang bukit barisan Sumatera bagian utara.

**Kata kunci :** Variasi spasial parameter seismotektonik, *a* dan *b* value dan kondisi stress lokal tektonik.

### 1. Pendahuluan

Wilayah Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi, hal ini

disebabkan karena wilayah Sumatera Barat dilalui oleh pertemuan dua lempeng besar yang aktif yaitu lempeng Indo – Australia dan lempeng Eurasia. Lempeng Indo – Australia bergerak secara miring kemudian menabrak lempeng Eurasia yang relatif diam. Selain itu wilayah Sumatera Barat juga terdapat adanya patahan aktif yang disebut sebagai patahan besar Sumatera atau " *Sumatera Fault System* ". Patahan aktif ini bergerak secara geser *dekstral* yang menyayat pulau Sumatera. Karena adanya pertemuan dua lempeng dan patahan aktif Sumatera, maka dapat dikatakan sebagai pemicu terjadinya gempabumi di wilayah sekitar Sumatera Barat. Sudah banyak kejadian gempabumi besar dan merusak yang terjadi di wilayah Sumatera Barat, antara lain gempabumi Pariaman tahun 2009 dengan Mw.7.6, gempabumi Pagai Selatan Kep.Mentawai tahun 2010 dengan Mw. 7.2 dan gempabumi Padangpanjang tahun 2007 dengan Mw.6.4 dan 6.3.

Untuk memahami proses yang menyebabkan terjadinya gempabumi besar dan merusak disuatu wilayah perlu mengetahui kondisi stress lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan menggunakan variasi spasial parameter seismotektonik *a* dan *b*-value dengan pendekatan hubungan frekuensi–magnitudo (*a* dan *b* value) yang dikemukakan oleh Gutenberg and Richter, 1964. Secara statistik variasi spasial seismotektonik mengalami perubahan secara signifikan didaerah pertambangan, *regime stress* seperti di *slab-subduction* disepanjang daerah patahan dan didaerah aktivitas vulkanik (Wiemer and Wyss, 2000). Variasi spasial parameter seismotektonik *low b*-value mencerminkan kondisi stress lokal yang tinggi dan *high b*-value sebaliknya, sedangkan *low a*-value mencerminkan tingkat keaktifan kegempaan yang rendah dan sebaliknya pada *high a* value. Suatu wilayah yang memiliki kondisi stress lokal tektonik yang tinggi memiliki besar *b*-value sekitar 0.4 – 0.9,

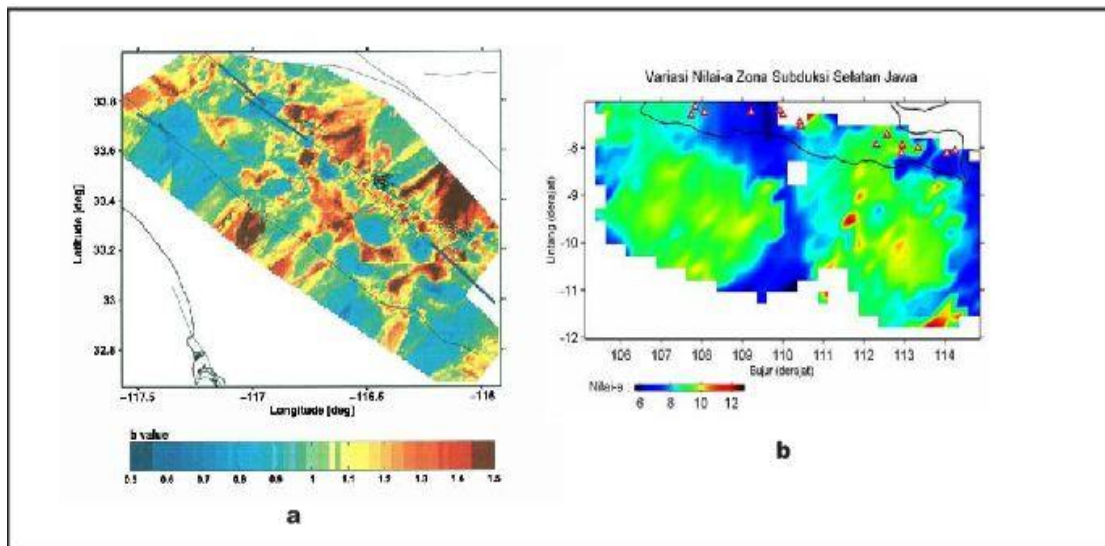
kemudian kondisi stress lokal tektonik yang rendah *b-value* lebih dari 1.2 ( *Amelung and King, 1997; Wiemer and Wyss, 1997*).

| b value   |        |
|-----------|--------|
| 0.4 - 0.9 | rendah |
| > 1.2     | tinggi |

Tabel 1. Beberapa nilai variasi spasial *b* value ( *Amelung and King, 1997; Wiemer and Wyss, 1997*).

Pada studi ini, telah banyak dilakukan oleh beberapa ahli seismologi sebelumnya, seperti yang pernah dilakukan oleh *Monterreso and O.Kulhanek (2003)* mengenai *Variation spatial seismotectonic in the subduction zone of central America*, mereka menyelidiki adanya perubahan anomaly variasi spasial parameter seismotektonik *b-value* yang tinggi pada kedalaman 80-100 km di zona subduksi. Kemudian oleh *Nakaya*

(2004) tentang *analyzed seismicity data from the subducting slab along Kurile Trench*, beliau mendapatkan pada event gempa bumi besar dan merusak, seperti gempa bumi Tokachi-Oki (Mw.8) 26 September 2003 disekitar dekat episenter menghasilkan anomaly *b-value* yang rendah (*low b-value*). Dan Penelitian oleh Rohadi dkk (2008) tentang studi potensi seismotektonik sebagai precursor di Wilayah Sumatera dan Andaman, Rohadi dkk (2008) mengatakan pada *a-value* yang rendah menunjukkan aktivitas kegempaan yang rendah yang berarti adanya akumulasi energi (*asperity*). Oleh karena itu menurut *Schorlemmer & Wiemer (2004)* variasi spasial parameter seismotektonik menjadi salah satu tools yang cukup tepat untuk mengetahui kondisi stress lokal tektonik dan tingkat aktivitas kegempaan di suatu wilayah.



Gambar 1. a.Contoh pemetaan *b-value* di *San Jacinto-Elsinore Fault Zones* ( *Wyss, Schorlemmer and Wiemer, 2000*) dan b. Contoh pemetaan *a-value* di zona subduksi Jawa ( *Rohadi, dkk 2008*)



Untuk menentukan variasi spasial parameter seismotektonik digunakan software ZMAP (Wiemer and Wyss, 2000). Software ini pada prinsipnya menggunakan metode maksimum Likelihood dari relasi persamaan Gutenberg and Richter (1964) dengan teknik gridding yang terdapat beberapa even gempabumi dan pada tiap-tiap grid dapat dicari variasi spasial parameter seismotektoniknya.

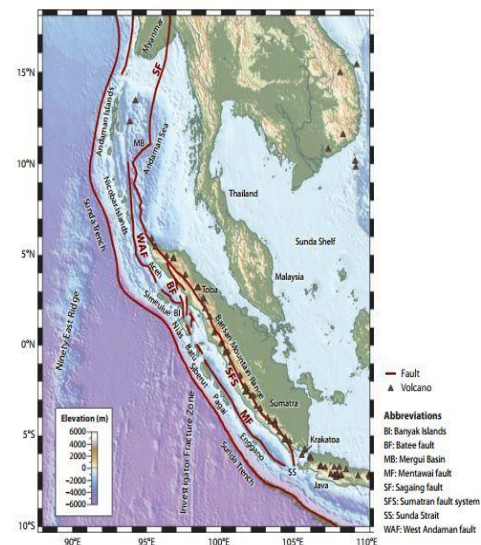
Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui wilayah mana saja di Sumatera Barat dan Sekitarnya yang memiliki kegempaan dan kondisi stress lokal yang tinggi dalam hubungannya sebagai mitigasi bencana, khususnya bencana gempabumi.

### Tektonik Setting

Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah yang berada dipantai barat Sumatera, dengan tingkat aktivitas seismik/kegempaan sangat tinggi di Indonesia. Hal ini tidak lepas dengan keberadaan adanya dua lempeng tektonik besar yang aktif, yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Pertemuan kedua lempeng ini bersifat konvergen dan lempeng Indo-Australia bergerak kearah utara kemudian men-subduksi terhadap lempeng Eurasia secara menyerong (oblique) dengan kemiringan (dip) yang landai. Salah satu akibat dari pergerakan kedua lempeng tersebut, maka muncul deretan kepulauan Mentawai dan juga membentuk jalur sesar Mentawai (Mentawai fault) yang berada diantara selat Mentawai. Batas penunjaman kedua lempeng tersebut berupa palung laut dalam disepanjang pantai barat Sumatera sampai kepulauan Andaman. Menurut Natawidjaja dan Prawirodirdjo, 2000 lempeng Indo-Australia yang menunjam kebawah lempeng Eurasia memiliki kecepatan sekitar 50 – 60 mm/tahun dan kemiringan dari zona penunjamannya.

Bidang kontak zona penunjaman di Sumatera barat dapat diamati dari data seismisitasnya sampai kedalaman sekitar 300 Km (Natawidjaja, 2000). Lempeng Indo-Australia yang terus – menerus men-subduksi lempeng Eurasia (Sumatera) mengakibatkan terbentuknya bidang kontak zona penunjaman dangkal atau yang disebut "Megathrust" (mega patahan naik yang berkemiringan landa. Selain itu kondisi tektonik Sumatera barat dipengaruhi adanya aktivitas tektonik sesar Sumatera. Sesar besar Sumatera mempunyai panjang 1900 Km melintasi disepanjang punggung Sumatera atau pegunungan bukit barisan. Sesar besar Sumatera bergerak kearah barat laut pulau Sumatera dengan sistem

pergerakan sesar geser dekstral. Sesar aktif Sumatera mempunyai kecepatan gerak dari hanya 2.5 mm/tahun diselatan, kemudian bertambah cepat ke utara menjadi sekitar 30 mm/tahun didanau Toba (Natawidjaja and Triyoso, 2007).

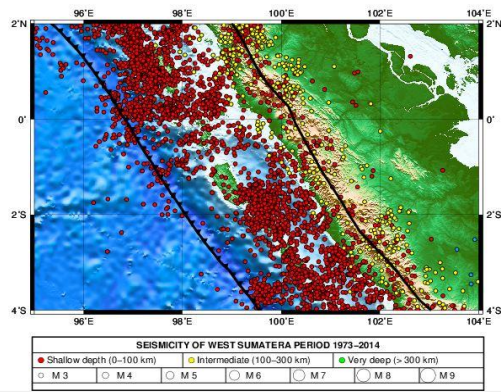


Gambar 2. Tatanan tektonik Sumatera (Mc Caffrey, 2000)

Kecepatan gerak ini menentukan periode ulang gempa, makin cepat geraknya akan makin sering gempanya, kecepatan gerak sesar aktif ini dikontrol oleh bentuk batas lempeng Sumatera yang melengkung.

### Aktivitas Kegempaan Di Wilayah Subduksi Sumatera Barat

Aktivitas kegempaan di wilayah subduksi Sumatera Barat selama periode 1973-2014, ditampilkan oleh peta seismisitas gempabumi pada gambar (2). Dengan peta seismisitas ini kita dapat menggambarkan pola sebaran aktivitas kegempaan di wilayah subduksi Sumatera Barat. Kerapatan seismisitas (kegempaan) di wilayah ini terlihat disekitar pulau Nias bagian barat, dan kearah barat laut, pulau Batu (Nias Selatan), Kepulauan Mentawai kearah tenggara, pulau Pagai bagian selatan dan di zona sesar Sumatera pada segmen Barumon, sianok dan suliti.



Gambar 2. Peta seismisitas kegempaan di wilayah Sumatera Barat periode observasi 1973-2014 (sumber data : BMKG dan NEIC/USGS)

### Hubungan Frekuensi Dengan Magnitudo Gempabumi

Hubungan frekuensi dan magnitudo gempabumi merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat aktivitas kegempaan di suatu wilayah dan menjadi suatu hubungan dasar dari statistik seismologi. Hubungan frekuensi dan magnitudo gempabumi (*frequency – magnitude distribution*) pertama kali dikemukakan oleh Gutenberg and Richter, 1942 dan Ishimoto – Iida 1939, yang memenuhi persamaan :

$$\log N(M) = a - bM$$

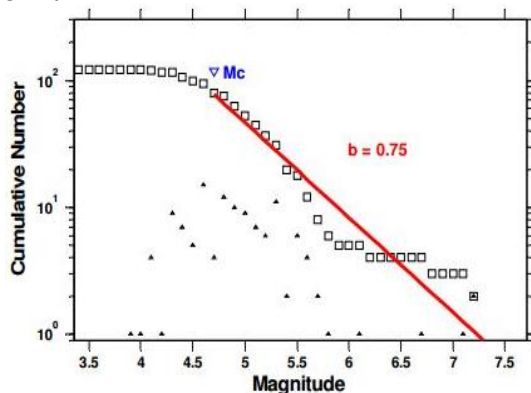
Dimana :  $N(M)$  = Jumlah gempabumi dengan magnitudo  $M$

$a$  dan  $b$  = Konstanta

parameter seismotektonik

$M$  = Magnitude

gempabumi



Gambar 3. Kurva hubungan frekuensi dengan magnitudo gempabumi Gutenberg and Richter, 1964 (sumber : Stein and Wyssession, 2003)

Kurva diatas menjelaskan tentang hubungan frekuensi dan magnitudo gempabumi. Semakin

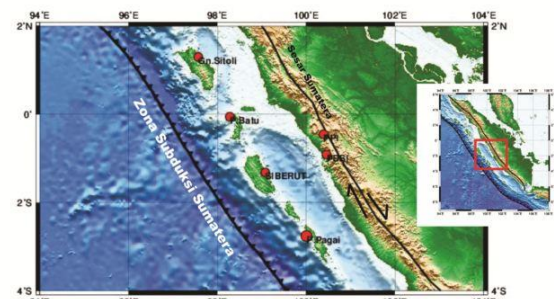
rendah magnitudo ( $M < 4.5$ ) maka semakin tinggi frekuensi gempabumi, sedangkan sebaliknya untuk magnitudo yang tinggi.

## 2. Data dan Metodologi

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data katalog gempabumi dari BMKG dan NEIC(USGS) periode observasi 1 Januari 1973 – 31 Desember 2010, letak koordinat 2 LU – 4 LS dan 96 BT – 104 BT meliputi wilayah Sumatera barat dan Sekitarnya dengan magnitudo  $M. 3.5 - 8.0$ . Data katalog gempabumi ini terdiri dari *latitude*, *longitude*, tahun, bulan, tanggal, magnitudo, kedalaman, jam, dan menit.

| Longitude | Latitude | Tahun | Bulan | Hari | Magnitude | Kedalaman | Jam | Menit |
|-----------|----------|-------|-------|------|-----------|-----------|-----|-------|
| 100.43    | -0.34    | 2004  | 05    | 24   | 4.6       | 45        | 03  | 43    |
| 99.24     | -2.23    | 2004  | 06    | 22   | 5.0       | 32        | 10  | 23    |

Tabel 1. Contoh data yang digunakan dalam penelitian



Gambar 4. Wilayah penelitian meliputi Sumatera barat dan Sekitarnya

### Metodologi

Untuk mengetahui kondisi stress tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan di suatu wilayah dalam studi ini menggunakan program ZMAP versi 6.0 (Wiemer and Wyss, 2000) yang menggunakan metode maksimum Likelihood (Utsu, 1965) dengan persamaan  $b$  – value :

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_{min}}$$

dimana :  $b$  = Karakteristik seismotektonik di suatu wilayah

$\log e = 0.4343$

$\bar{M}$  = Magnitude rata-rata

$M_{min}$  = Magnitude completeness

Kemudian nilai  $a$  – value menggunakan rumus sebagai berikut :

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 b$$

dimana :  $a$  = aktivitas kegempaan disuatu wilayah

$\log N (M \geq M_o) = \log$  dari jumlah gempabumi yang memiliki magnitude lebih besar dari

$M_o$

tingkat kepastian dari nilai  $b$ -value dapat ditentukan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh *Shi and Bold, 1982*.

$$\sigma(b) = 2.30 b^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad 2$$

Dimana :  $\sigma(b)$  =

standar deviasi nilai  $b$  value

$n$  =

jumlah dari katalog gempabumi

$b$  =  $b$  value

### Pengolahan Data

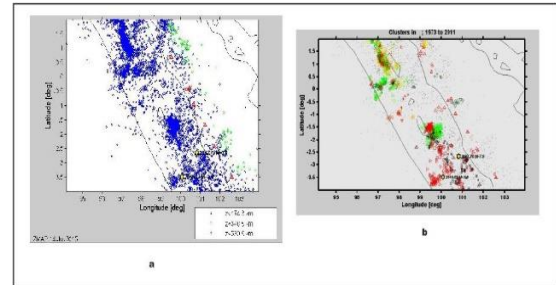
Beberapa tahapan untuk menentukan variasi spasial seismotektonik ( $a$  dan  $b$  value) sebagai berikut :

1. Pengambilan data, data diambil dari katalog gempabumi *National Earthquakes Information Center (NEIC/USGS)* dan *BMKG* periode observasi 1 Januari 1973 – 31 Desember 2010
2. Data yang diambil, kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa bagian : *longitude, latitude*, tahun, bulan, hari, magnitude, kedalaman, jam, dan menit.
3. *Declustering* data katalog gempabumi untuk memisahkan data gempabumi utama dengan data gempabumi susulannya.
4. Plot distribusi frekuensi – magnitude untuk mengetahui magnitude completeness nya ( $M_c$ )
5. Menghitung densitas kegempaan, dengan menggunakan teknik "gridding". Pada tiap-tiap gridding dengan jarak  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , radius sampling 110 km, banyaknya event pada tiap-tiap grid 30 event gempabumi dan  $M_c = 4.5$ , kemudian dibuat peta variasi distribusi densitas kegempaan dalam skala logaritmik (jumlah gempabumi per  $km^2$ ).
6. Memetakan variasi *spatial b* – value, dengan cara daerah wilayah penelitian dibagi menjadi grid – grid dan nilai  $b$  – value dihitung untuk tiap titik grid dengan kombinasi radius konstan dan jumlah gempa konstan.

3. 7. Perhitungan nilai variasi spasial  $b$  – value menggunakan metode Likelihood, menggunakan software ZMAP versi 6.0 (*Wiemer and Wyss, 2002*).

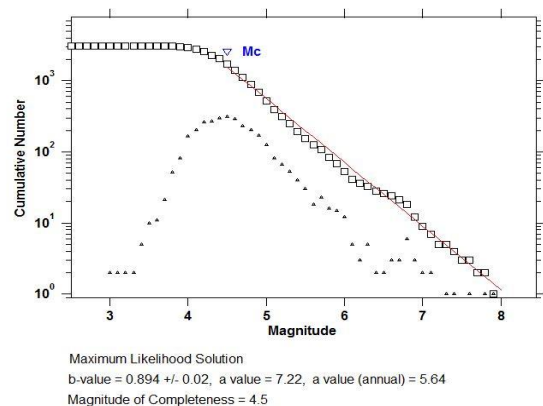
### 3. Hasil dan Pembahasan

Katalog gempabumi dari *BMKG* dan *NEIC/USGS* periode observasi mulai dari 1 Januari 1973 – 31 Desember 2010 berjumlah 4421 even gempabumi, kemudian setelah di *decluster* menjadi 3107 event gempabumi. Tujuan meng-*decluster* ini adalah menghilangkan pengaruh event gempabumi susulan jadi hanya menggunakan event gempabumi utama.



Gambar 5. a dan b. data gempabumi sebelum dan sesudah di *decluster* (sumber data : *BMKG* dan *NEIC/USGS*)

Distribusi frekuensi – magnitude gempabumi menggambarkan hubungan antara jumlah – gempabumi dengan magnitude. Di wilayah Sumatera barat dan sekitarnya peristiwa gempabumi bermagnitude  $M$  3.0 – 4.5 SR memiliki frekuensi cukup tinggi. Sedangkan untuk peristiwa gempabumi bermagnitude  $M > 5.0$  SR frekuensinya mengalami penurunan. Hal ini menandakan gempabumi yang bermagnitude  $M < 5.0$  mendominasi terjadi di Di wilayah Sumatera barat dan sekitarnya.

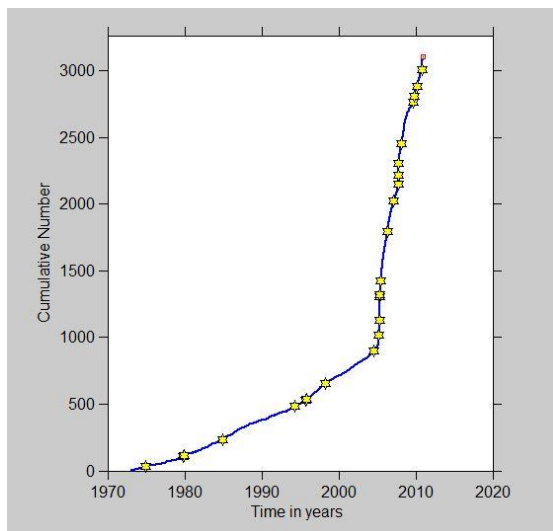


Gambar 6. Kurva FMD di wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya periode observasi 1 Januari 1973 – 31 Desember 2010. Dengan distribusi frekuensi – magnitude gempabumi nilai *magnitude completeness*



( $M_c$ ) di wilayah penelitian didapatkan cukup baik yaitu sekitar  $M_c = 4.5$ . Nilai *magnitude completeness* ini sangat mempengaruhi dalam penentuan parameter seismotektonik di suatu wilayah. Berdasarkan kurva FMD, maka secara umum nilai parameter seismotektonik di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya menghasilkan  $b\text{-value} = 0.894$  dan  $a\text{-value} = 7.22$ .

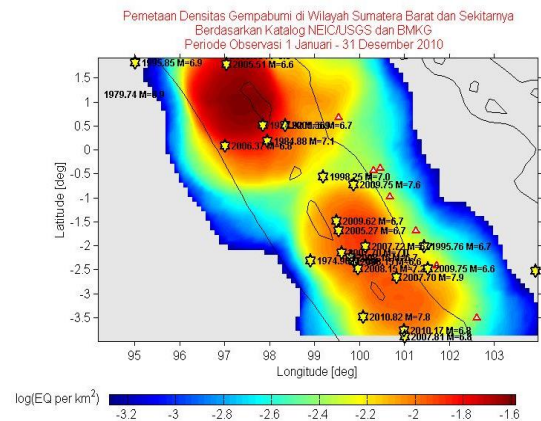
Pada gambar 7 kurva analisis time series atau plot kumulatif gempabumi di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya menunjukkan adanya peningkatan aktivitas seismik/kegempaan antara tahun 2000 – 2010. Pada tahun 2000 – 2010 banyak terjadi event gempabumi yang cukup signifikan dengan magnitudo  $M > 6.5$  SR.



Gambar 7. kurva analisis time series atau plot kumulatif gempabumi  
(sumber data : BMKG dan NEIC/USGS)

Dengan melihat plot kumulatif gempabumi dapat kita artikan selama kurun waktu 10 tahun dari tahun 2000 – 2010 di wilayah ini terus-menerus mengalami *accumulation energy* sehingga dapat menyebabkan event gempabumi yang cukup signifikan.

Menurut Scholz (1968), parameter seismotektonik berkorelasi terhadap stress didalam suatu volume batuan. Apabila suatu batuan diberikan tekanan secara terus-menerus, maka batuan tersebut sedang mengalami pembangkitan stress (build up stress). Densitas gempabumi yang tinggi dapat kita interpretasikan bahwa batuan tersebut memiliki kekuatan (strength) untuk menahan tekanan. Akan tetapi densitas gempabumi yang rendah menandakan batuan tersebut mudah mengalami “fracture”.

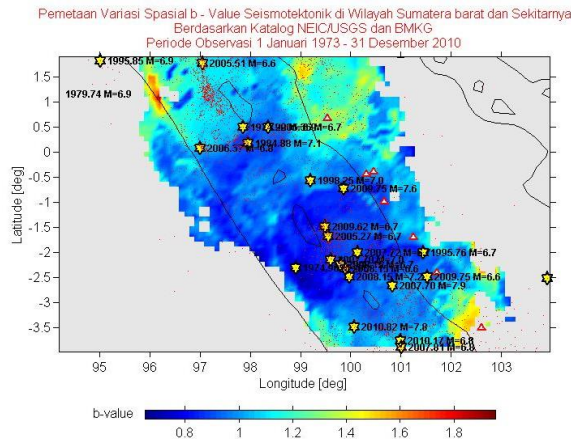


Gambar 10. Pemetaan densitas gempabumi di wilayah Sumatera barat dan sekitarnya.

Dari gambar 10 dapat kita lihat di sekitar Nias-Gn.Sitoli dan di kepulauan Mentawai yang berwarna merah pekat memiliki kerapatan kegempaan yang cukup tinggi dengan densitas gempabumi berkisar  $-2$  s/d  $-1.6 \log (Eq \text{ per } km^2)$  yang mana dapat diindikasikan di wilayah tersebut kondisi batuan mudanya mudah mengalami “fracture”. Sedangkan untuk kerapatan kegempaan yang rendah terjadi di sekitar Pulau Batu dengan densitas gempabumi berkisar  $-2.6$  s/d  $-2.2 \log (Eq \text{ per } km^2)$ .

Variasi spasial parameter seismotektonik  $b\text{-value}$  di wilayah Sumatera barat dan sekitarnya telah dianalisis dengan cukup baik. Distribusi pemetaan variasi spasial parameter seismotektonik ditampilkan pada gambar 11. Berdasarkan gambar 11 variasi spasial parameter seismotektonik  $b\text{-value}$  yang rendah teramati di bagian selatan Pulau Nias-Gn. Sitoli, Kepulauan Mentaawai dan disepanjang bukitbarisan di Sumatera bagian barat. Di wilayah bagian selatan Pulau Nias-Gn. Sitoli menghasilkan nilai variasi spasial seismotektonik sekitar  $0.7 - 0.9$  di Kepulauan Mentawai sekitar  $0.6 - 0.9$  dan disepanjang bukitbarisan di Sumatera bagian barat berkisar  $0.8 - 1.0$ .

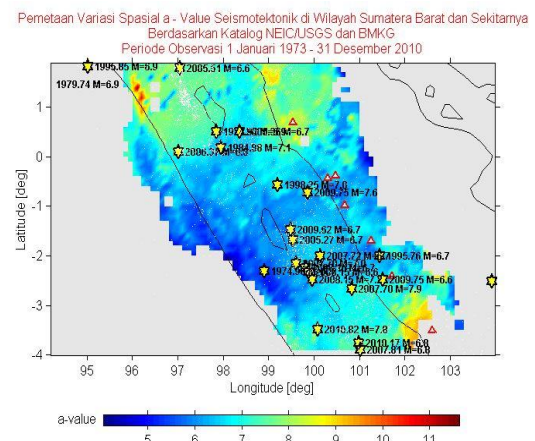
Kemudian variasi spasial parameter seismotektonik  $b\text{-value}$  yang tinggi berada dibagian barat-barat laut pulau Nias dan disepanjang bukitbarisan Sumatera bagian utara dengan nilai variasi spasial parameter seismotektonik  $1.1 - 1.3$ .



Gambar 11. Pemetaan variasi spasial *b-value* di wilayah Sumatera barat dan Sekitarnya

Berdasarkan para ahli kebumihan sebelumnya nilai *b-value* yang rendah berasosiasi terhadap kondisi lokal stress yang tinggi dan sebaliknya pada *b-value* yang tinggi. Dengan demikian wilayah pulau Nias bagian selatan, Kepulauan Mentawai dan diwilayah sepanjang Bukitbarisan diSumatera bagian barat memiliki lokal stress yang cukup tinggi (*high normal stress*), hal ini didasarkan karena pada wilayah tersebut berada di zona seismik aktif (*regime stress zone*) yang dipengaruhi oleh adanya aktivitas tektonik zona subduksi, sesar aktif Mentawai dan Sumatera. Selain itu kita lihat juga diwilayah tersebut banyak event gempabumi yang cukup besar dan merusak dengan magnitudo  $M > 6.0$  SR yang memiliki nilai variasi spasial *b-value* rendah, hal ini berarti setelah terjadi event gempabumi besar dan merusak diwilayah bagian selatan Pulau Nias-Gn. Sitoli, Kepulauan Mentawai dan disepanjang bukitbarisan di Sumatera bagian barat masih menyimpan lokal stress yang cukup tinggi atau sedang berlangsung akumulasi stress dan berpotensi terjadi gempabumi besar yang akan datang. Pada wilayah penelitian dengan *b-value* rendah berarti mempunyai tingkat kondisi heterogenitas yang rendah. Kemudian untuk wilayah Pulau Nias bagian barat-barat laut dan disepanjang Bukitbarisan di Sumatera bagian utara dapat diinterpretasikan mempunyai stress lokal yang rendah (*low local stress*) dengan variasi spasial *b-value* tinggi, kondisi heterogenitas yang tinggi. Diwilayah tersebut juga dapat dikatakan sebagai daerah *creeping* yang artinya daerah sesar aktif mengalami slip dan tidak mengakumulasi stress dengan spasial *b-value* sekitar  $> 1.2$  (Wiemer and Wyss, 1997). Menurut Warren and Latham, 1970 dengan *b-value* yang tinggi dipengaruhi oleh *high*

*thermal gradient* di *slab-subduction*. Kemudian *b-value* yang tinggi juga terlihat di sepanjang Bukitbarisan diSumatera bagian utara. Dengan melihat kembali gambar 2 tentang aktivitas kegempaan diwilayah penelitian, kondisi seismisitas di sepanjang Bukitbarisan diSumatera bagian utara mempunyai kedalaman 100 – 300 km. Menurut Wiemer and Benoit, 1996 pada kedalaman  $h > 100$  km kondisi thermal dibawah *slab-subduction* sangat tinggi yang dapat menimbulkan medan stress dengan asosiasi karakteristik seismotektonik dengan nilai *b-value* yang tinggi.



Gambar 12. Pemetaan variasi spasial *a-value* di wilayah Sumatera barat dan Sekitarnya.

Tampak pada gambar 12 nilai *a-value* yang rendah terjadi disekitar Kepulauan Mentawai dengan *a-value* berkisar 4 - 6. Dimana *a-value* yang rendah diartikan sebagai wilayah yang memiliki aktivitas seismik yang rendah dan terjadi akumulasi energi (*asperity*) diwilayah tersebut. Berdasarkan dari nilai *a-value* yang rendah maka diwilayah kepulauan Mentawai berpeluang terjadinya gempabumi besar hal ini didasarkan dengan kondisi stress lokal yang tinggi dan adanya akumulasi energi (*asperity*). Sedangkan *a-value* yang tinggi terjadi dibagian barat-barat laut pulau Nias-Gn. Sitoli, sebagian disepanjang wilayah bukitbarisan Sumatera bagian utara dan di Kepulauan Mentawai bagian selatan dengan *a-value* berkisar 6.5 – 8.5. Kondisi parameter seismotektonik *a-value* yang tinggi hampir sama dengan kondisi *b-value* yang tinggi diwilayah tersebut, dengan demikian diwilayah tersebut memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi.



### Kesimpulan

1. Secara umum nilai  $a$  dan  $b$  – value di wilayah Sumatera barat dan sekitarnya yaitu 7.22 dan 0.894.
2. Berdasarkan variasi spasial parameter seismotektonik menggunakan katalog gempabumi dari BMKG dan NEIC/USGS periode observasi 1 Januari 1973 – 31 desember 2010,  $b$ -value rendah teramati disekitar kepulauan Mentawai dengan  $b$ -value berkisar 0.6 – 0.9 dan di pulau Nias bagian selatan dengan  $b$ -value berkisar 0.7 – 0.9 dan disepanjang bukitbarisan di Sumatera bagian barat  $b$ -value berkisar 0.8 – 1.0. Kemudian  $b$ -value tinggi berada dipulau Nias bagian barat-barat laut dan disepanjang Bukitbarisan di Sumatera bagian utara dengan  $b$ -value > 1.0.
3. Di kepulauan Mentawai dan di pulau Nias bagian selatan mempunyai kondisi stress lokal tektonik yang tinggi dan berpotensi terjadinya gempabumi besar dan merusak. Sedangkan dibagian barat – barat laut pulau Nias–Gn.Sitoli dan disepanjang Bukitbarisan di Sumatera bagian utara memiliki stress lokal tektonik yang rendah.
4. Tingkat aktivitas seismik/kegempaan yang rendah (*low a-value*) teramati di kepulauan Mentawai dengan  $a$ -value berkisar 4 – 6 dan di wilayah tersebut sedang terjadi akumulasi energi (*asperity*), namun tingkat aktivitas seismik/kegempaan yang tinggi terjadi di pulau Nias–Gn.Sitoli bagian barat-barat laut dan di sekitar kepulauan Mantawai bagian selatan dengan  $a$ -value berkisar 6.5 – 8.5.

*fractures of various materials and some related problems in earthquakes.* Bull. Earthquake. Res. Let. Univ.Tokyo. 40 : 831 – 883.

Nuannin, P.-, Kulhanek, O. And Parson, L., 2005. *Spatial and Temporal b value anomalies proceding the deviating off coast of NW Sumatra earthquakes of december 26, 2004.* Geophys. Res. Let., 32 L 11307.

Parson, T., 2007, *Forecaast experiment : Do temporal and spatial b value variations along the calaveras fault portend M4.0 earthquake??*. J. of Geophys. Res. Vol.112.

Scholz, C. H., 1968, *The frequency – magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquake*, Bull. Seismol. Soc. Am, 58, hal . 399 – 415.

Schorlemmer, D. Dan Weimer, S., 2004, *Earthquakes statistics at parkfiled : I. Stationarity of b – value*, J. of Geophys. Res., Vol. 109.

Wiemer, S. & Wyss, M., 1997, *Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence time?*, J. Geophys. Res., 102, 15, 115 – 15, 128.

Wiemer, S., 2001. *A software package to Analyze Seismicity: ZMAP*, Seismol. Res. Lett, vol.72, 373-382.

### Daftar Pustaka

Aki, K., 1965, *Maximum likelihood estimate of b in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence*

*limits*, Bulletin of the earthquake Research Institute, Tokyo University, 43, pp. 237-239.

Gibowicz, S.J. (1973), *Variation of the frequency-magnitude relation during earthquake sequence in New Zealand*, Bull. Seimol. Soc. Am, 63, 517 – 528.

Gutenberg, B. And Richter, C, F., 1944, *Frequency of earthquake in California*, Bull. Seismol. Soc. Am. 34, hal. 185 – 188.

Mogi, K., 1962. *Magnitude-frequency relationship for elastic shocks accompanying*

## Kajian Klimatologis Banjir Kilat (*Flash Flood*) Singkawang Tanggal 21-22 Mei 2016

*Firsta Zukhrufiana Setiawati, Wandayantolis, Nurdeka Hidayanto*

*Stasiun Klimatologi Siantan Pontianak*

**Abstrak.** Publikasi beberapa media lokal provinsi Kalimantan Barat menyebutkan bahwa tanggal 21-22 Mei 2016 di kota Singkawang terjadi banjir akibat jebolnya tanggul Semelagi. Hujan lebat disinyalir menjadi penyebab meningkatnya debit air daerah aliran sungai Semelagi, sehingga mengakibatkan tanggul jebol. Kejadian banjir ini dikabarkan merendam pemukiman warga di desa Semelagi Kecil seluas 1724 Ha, juga mengakibatkan terganggunya akses transportasi antar kabupaten/ kota. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui tipe banjir di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016, berikut faktor penyebabnya. Untuk menelaah kejadian ini, penulis melakukan penelitian klimatologis dengan menggunakan data curah hujan pada 8 lokasi di tiga kabupaten yaitu kabupaten Sambas (Selakau, Salatiga); kabupaten Bengkayang (Ledo, Sanggau Ledo, Sei Duri) dan kota Singkawang (Singkawang Barat, Singkawang Tengah, Singkawang Timur). Data yang digunakan adalah data 3 hari yaitu tanggal 21, 22, 23 Mei 2016. Penelitian ini disusun dengan menggunakan metode studi kasus dan pendekatan kualitatif dengan mempertimbangkan topografi. Diketahui hujan lebat lebih dari 50 mm/hari yang terjadi di hampir seluruh lokasi data mengakibatkan peningkatan debit air di daerah aliran sungai Semelagi mengingat wilayah Semelagi merupakan wilayah yang memiliki elevasi paling rendah, sehingga diasumsikan menerima air limpaan dari wilayah sekitarnya. Hujan lebat disinyalir merupakan akibat dari kondisi dinamika atmosfer yang cukup mendukung, seperti OLR semakin rendah, SOI memasuki La Nina, kondisi perawanan yang mendukung dan meningkatnya anomali curah hujan di wilayah kejadian. Dan akhirnya diketahui bahwa banjir di Singkawang ini tergolong *Flash Flood* atau banjir kilat. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat dijadikan perhatian bagi masyarakat, terutama masyarakat yang

membangun pemukiman di daerah bantaran sungai.

**Kata kunci :** *Flash Flood, Topografi, OLR, SOI*

**Abstract .** Publications of several local media in West Borneo mentioned that occurred the flood event at Singkawang on May 21<sup>st</sup>-22<sup>nd</sup>, 2016 due to perforated Semelagi levee. Heavy rainfall allegedly caused the increasing of water discharge in Semelagi riverbank, it caused the perforated levee. This flood event reported that a village settlement in 1724 Ha wide submerged, it also effected the transportation access agitated. This study was conducted to comprehend the type of flood occurred, and also the causative factors. To investigate this case, conduct the climatological research by using rainfall data of 8 locations at Sambas regency (Selakau, Salatiga); Bengkayang regency (Ledo, Sanggau Ledo, Sei Duri) dan Singkawang city (West Singkawang, Centre Singkawang, East Singkawang). The data used were 3 days data (May 21<sup>st</sup>, 22<sup>nd</sup>, 23<sup>rd</sup>, 2016). This research was conducted by using case study method and qualitative approach with took topography into consideration. Known the heavy rainfall which were more than 50 mm/day occurred in almost all of locations and this condition affected to the significantly increase of water discharge in Semelagi river (considered that Semelagi has the lowest elevation). Heavy rainfall was reported as the effect the atmospheric condition (such as : the lower of OLR, SOI that near to La Nina phase, the cloudiness, and the higher of rainfall anomalies). Finally, known that Singkawang flood was categorized to *Flash Flood*. By conducting this research, public may consider to build the settlement far from riverbanks.

**Key word :** *Flash flood, Topography, OLR, SOI*

## A. PENDAHULUAN



Gambar 1. Publikasi media lokal

Beberapa publikasi media cetak melaporkan kejadian banjir di kota Singkawang, tepatnya Singkawang Utara, kelurahan/ desa Semelagi Kecil. Wilayah ini terletak di kota Singkawang bagian paling utara berbatasan dengan kabupaten Sambas dan kabupaten Bengkayang, serta terletak di garis pantai Selat Karimata.

Disebutkan kejadian banjir terjadi pada tanggal 21-22 Mei 2016. Kejadian banjir ini disinyalir akibat dari jebolnya tanggul sungai Semelagi karena meningkatnya debit air akibat tingginya curah hujan di sekitar wilayah kejadian. Kejadian banjir ini mengakibatkan terendamnya pemukiman warga dan terganggunya transportasi.

Wilayah Semelagi Kecil memiliki ketinggian wilayah atau elevasi paling rendah dibanding wilayah lainnya. Wilayah Bengkayang terdapat pegunungan di wilayah Ledo dan Sanggau Ledo, wilayah kota Singkawang sendiri terdiri atas pegunungan dan perbukitan terutama di bagian Barat. Kejadian hujan pada umumnya dapat mengakibatkan kondisi-kondisi ekstrim.

Wilayah Kalimantan Barat merupakan wilayah yang terdapat banyak daerah aliran sungai, tentunya kondisi wilayah semacam ini sangat rentan banjir akibat luapan sungai yang jerap kali disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi, begitu pula halnya dengan kejadian banjir di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016.

Dalam penyusunan studi ini penulis menggunakan beberapa tinjauan teori seperti, DAS (Daerah ALiran Sungai), banjir, dan kriteria hujan lebat. Daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggungan gunung/ pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu

titik/ stasiun yang ditinjau. Luas DAS sangat berpengaruh terhadap debit sungai. Pada umumnya semakin besar DAS semakin besar jumlah limpasan permukaan sehingga semakin besar pula aliran permukaan atau debit sungai (Triatmodjo, 2010).

Banjir adalah tinggi muka air yang melebihi normal pada sungai. Biasanya pada muka air tinggi air mengalir meluap melebihi tinggi tebing sungai dan luapan airnya menggenangi pada suatu daerah genangan. Banjir dapat terjadi karena faktor alami dan manusia terhadap lingkungan. Faktor alami yang mempengaruhi banjir seperti, intensitas curah hujan, kemiringan lereng, kerapatan alutan dan infiltrasi tanah, sedangkan campur tangan manusia terhadap lingkungannya adalah penggunaan lahan (Hadisusanto, 2010).

Jenis-jenis banjir berdasarkan National Severe Storms Laboratory/ NOAA adalah sebagai berikut :

- *River flood* : Terjadi saat tingkat permukaan air melebihi bibir sungai akibat meningkatnya curah hujan akibat dari system tropis seperti : kejadian badai Guntur dalam waktu yang lama, kombinasi hujan dan mencairnya salju.
- *Coastal flood*: Tergenangnya wilayah darata sepanjang pesisir yang disebabkan oleh pasang air laut yang tinggi dan diperburuk dengan terjadi curah hujan.
- *Storm surge* : Peningkatan permukaan air yang abnormal di wilayah pesisir akibat dari pasang air laut, yang disebabkan oleh badai atau angin kencang, gelombang laut dan tekanan udara atmosferik yang rendah
- *Inland flood* : Terjadi saat akumulasi presipitasi berintensitas sedang yang terjadi selama beberapa hari, kejadian presipitasi terjadi pada periode yang singkat
- *Flash flood* : Disebabkan oleh hujan lebat yang biasanya terjadi kurang dari 6 jam. Flash flood biasanya memiliki karakter aliran air yang cukup deras setelah hujan lebat di daerah aliran sungai dan mengalirnya air limpahan dari pegunungan. Banjir ini juga dapat

disebabkan oleh tanggul jebol akibat dari peningkatan debit air

Dalam *Press Release* BMKG (2010) tentang Kondisi Cuaca Ektrim dan Iklim Tahun 2010 – 2011 disebutkan bahwa kriteria intensitas curah hujan di wilayah Indonesia, yaitu, sebagai berikut :

Tabel 1. Kriteria intensitas curah hujan di Indonesia

| KRITERIA INTENSITAS CURAH HUJAN DI WILAYAH INDONESIA |                                  |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| KATEGORI                                             | KETERANGAN                       |
| RINGAN                                               | 1 – 5 mm/jam; 5 – 20 mm/hari     |
| SEDANG                                               | 5 – 10 mm/jam; 20 – 50 mm/hari   |
| LEBAT                                                | 10 – 20 mm/jam; 50 – 100 mm/hari |
| SANGAT LEBAT                                         | >20 mm/jam; >100 mm/hari         |

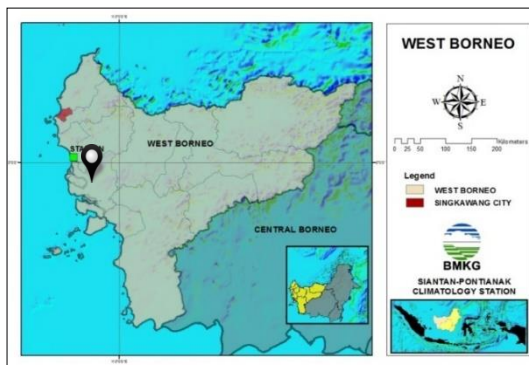
Studi tentang kejadian banjir Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016 ini difokuskan pada rumusan masalah, bagaimana memahami faktor-faktor penyebab kejadian banjir, serta tipe banjir yang juga dapat diidentifikasi dari faktor penyebab dan kerusakan yang ditimbulkannya. Adapun tujuan dari studi ini, yaitu untuk memahami tipe banjir yang terjadi di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016, serta untuk memahami faktor penyebab banjir yang terjadi di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016.

## B. METODOLOGI

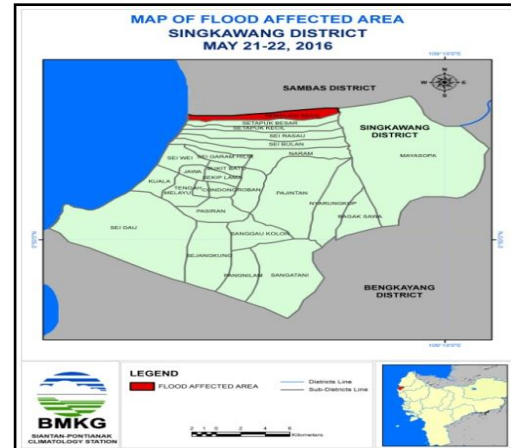
Studi ini merupakan studi kasus yang dilakukan pada, berikut ini :

### 1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam studi ini adalah kota Singkawang, kelurahan Semelagi Kecil (0.59° LU, 109.00° BT). Lokasi ini dapat dilihat pada gambar (peta) berikut :



Gambar 2.a Peta lokasi penelitian



Gambar 2.b Peta daerah terdampak banjir

### 2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dalam studi ini adalah waktu kejadian banjir di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016

### 3. Data

Data yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut :

- Data curah hujan 21, 22, 23 Mei 2016

Tabel 2. Data Curah Hujan 8 Pos Hujan Kalimantan Barat 21 – 23 Mei 2016

| Pos Hujan         | Lintang | Bujur  | Tgl 21 | Tgl 22 | Tgl 23 |
|-------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| LEDO              | 1.05    | 109.59 | 0      | 83     | 0      |
| SANGGAU LEDO      | 1.14    | 109.70 | 0      | 30     | 26     |
| SEI. DURI         | 0.67    | 108.92 | 8      | 84     | 2      |
| SINGKAWANG BARAT  | 0.89    | 108.96 | 0      | 25     | 125    |
| SINGKAWANG TENGAH | 0.92    | 108.99 | 0      | 92     | 11     |
| SINGKAWANG TIMUR  | 0.88    | 109.02 | 0      | 72     | 19     |
| SALATIGA          | 1.01    | 109.02 | 0      | 42     | 33     |
| SELAKAU           | 1.06    | 108.99 | 0      | 62     | 15     |

Sumber data : data observasi pos hujan kerjasama Stasiun Klimatologi Siantan Pontianak

- Data Curah Hujan Maksimum Historis  
Data curah hujan maksimum historis ini digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam analisis atau studi kasus banjir Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016, terutama sebagai perbandingan kejadian hujan lebat lebih dari 50 mm/hari. Berikut adalah data curah hujan maksimum historis dekade terakhir :



Tabel 3. Data Curah Hujan Maksimum Historis Kabupaten Bengkayang (3 pos)

| KAB. BENGKAYANG |     |              |     |           |     |
|-----------------|-----|--------------|-----|-----------|-----|
| LEDO            |     | SANGGAU LEDO |     | SEI DURI  |     |
| Tanggal         | CH  | Tanggal      | CH  | Tanggal   | CH  |
| 29-Jan-09       | 115 | 30-Nov-09    | 310 | X         | X   |
| 20-Nov-10       | 81  | 13-Jul-10    | 114 | 30-Okt-10 | 67  |
| 3-Dec-11        | 138 | 2-Nov-11     | 123 | 11-Jan-11 | 189 |
| 9-Jan-12        | 121 | 5-Mar-12     | 150 | 13-Jul-12 | 116 |
| 6-Feb-13        | 128 | 18-Mar-13    | 102 | 8-Mei-13  | 135 |
| 1-Nov-14        | 94  | 2-Apr-14     | 116 | 7-Sep-14  | 109 |
| 19-Jan-15       | 109 | 20-Jan-15    | 120 | 18-Dec-15 | 147 |
| 22-Feb-16       | 125 | 9-Feb-16     | 149 | 14-Feb-16 | 75  |

Tabel 4. Data Curah Hujan Maksimum Historis Kota Singkawang (3 pos)

| KOTA SINGKAWANG  |     |                   |     |                  |     |
|------------------|-----|-------------------|-----|------------------|-----|
| SINGKAWANG BARAT |     | SINGKAWANG TENGAH |     | SINGKAWANG TIMUR |     |
| Tanggal          | CH  | Tanggal           | CH  | Tanggal          | CH  |
| X                | X   | 11-Jan-09         | 191 | X                | X   |
| X                | X   | 5-Jul-10          | 122 | 1-Dec-10         | 55  |
| 27-Dec-11        | 182 | 24-Okt-11         | 137 | 12-Jan-11        | 102 |
| 6-Jul-12         | 163 | 2-Nov-12          | 133 | 15-Mar-12        | 109 |
| 7-Feb-13         | 181 | 6-Jul-13          | 186 | 24-Dec-13        | 61  |
| 17-Ags-14        | 70  | 26-Sep-14         | 107 | 22-Okt-14        | 71  |
| 15-Jun-15        | 151 | 22-Jan-15         | 108 | 26-Ags-15        | 151 |
| 7-Mei-16         | 100 | 5-Mar-16          | 97  | 5-Mar-16         | 127 |

Tabel 5. Data Curah Hujan Maksimum Historis Kota Singkawang (3 pos)

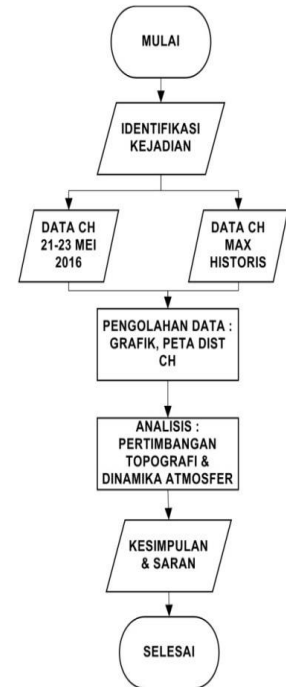
| KAB. SAMBAS |     |              |     |
|-------------|-----|--------------|-----|
| LEDO        |     | SANGGAU LEDO |     |
| Tanggal     | CH  | Tanggal      | CH  |
| X           | X   | 10-Jan-09    | 209 |
| X           | X   | 23-Jun-10    | 105 |
| X           | X   | 13-Jan-11    | 144 |
| 14-Dec-12   | 90  | 3-Mar-12     | 108 |
| 15-Feb-13   | 100 | 15-Sep-13    | 105 |
| 13-Sep-14   | 102 | 22-Dec-14    | 87  |
| 25-Jul-15   | 98  | 25-Sep-15    | 116 |
| 12-Feb-16   | 124 | 7-Mei-16     | 117 |

Sumber data : data observasi pos hujankerjasama Stasiun Klimatologi Siantan Pontianak

#### 4. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus yang disusun dengan analisis kualitatif yang dijelaskan dalam diagram alir. Diagram alir merupakan langkah-langkah kerja dalam metode studi kasus yang dilakukan dengan analisis kualitatif, dengan penjelasan sebagai berikut :

- Mengidentifikasi lokasi, waktu dan dampak kejadian banjir
- Mengumpulkan data curah hujan tanggal 21, 22, dan 23 Mei 2016
- Menyiapkan data curah hujan maksimum historis
- Menganalisis relief permukaan atau topografi
- Menganalisis faktor penyebab hujan lebat dengan memperhatikan kondisi topografi dan dinamika atmosfer



Gambar 2. Diagram alir

#### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 1. Identifikasi Kejadian Banjir

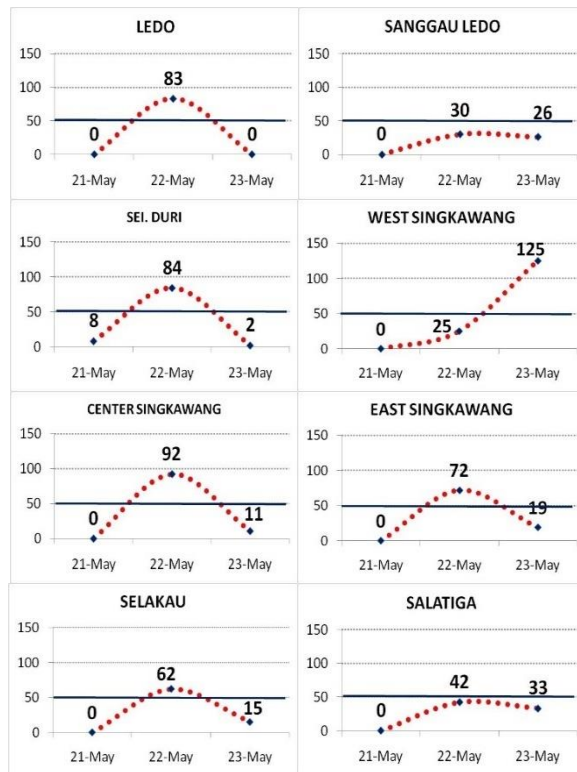
Dalam studi kasus kejadian banjir Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016, sebelum melakukan analisis, perlu dilakukan identifikasi kejadian yaitu sebagai berikut :

Tabel 6. Identifikasi kejadian banjir Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016

|                 |                                                                                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LOKASI KEJADIAN | Kota Singkawang, Kecamatan Singkawang Utara, Kelurahan Semelagi Kecil (0.59° LU, 109.00° BT)                                                          |
| WAKTU KEJADIAN  | Tanggal 21-22 Mei 2016                                                                                                                                |
| DUGAAN PENYEBAB | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanggul jebol</li> <li>• Meningkatnya debit air</li> <li>• Hujan lebat</li> </ul>                            |
| KERUGIAN        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1724 Ha pemukiman warga kelurahan Semelagi Kecil terendam</li> <li>• Jalur transportasi terganggu</li> </ul> |

## 2. Fluktuasi Curah Hujan

Berikut ini adalah grafik data curah hujan tanggal 21, 22 dan 23 Mei 2016 :



Gambar 3. Grafik curah hujan 21-23 Mei 2016

Dalam studi ini menggunakan batasan kriteria hujan lebat lebih dari 50 mm/hari, hal ini dilakukan untuk mengkategorikan intensitas hujan di sekitar wilayah kejadian banjir (di 8 pos hujan yang digunakan).

Tanggal 21 Mei 2016, seluruh pos hujan (8 lokasi pos hujan) adalah 0 mm, kecuali di pos hujan Sei Duri (Kabupaten Bengkayang) terjadi hujan sebesar 8 mm/hari. Kejadian hujan yang dicatat pada tanggal 21 Mei 2016 dibawah 50 mm/hari. Hal ini tentunya tidak mempengaruhi kondisi permukaan secara signifikan.

Tanggal 22 Mei 2016, hampir seluruh pos hujan terjadi hujan lebih dari 50 mm/hari, yaitu Ledo (83 mm/hari); Sei Duri (84 mm/hari); Singkawang Tengah (92 mm/hari); Singkawang Timur (72 mm/hari); dan Selakau (62 mm/hari). Kejadian hujan yang dicatat pada tanggal 22 Mei 2016 sebagian besar lebih besar dari 50 mm/hari. Hal ini dapat pula diasumsikan memberikan pengaruh signifikan bagi daerah aliran sungai, yaitu memungkinkan terjadinya peningkatan debit dan ketinggian air sungai.

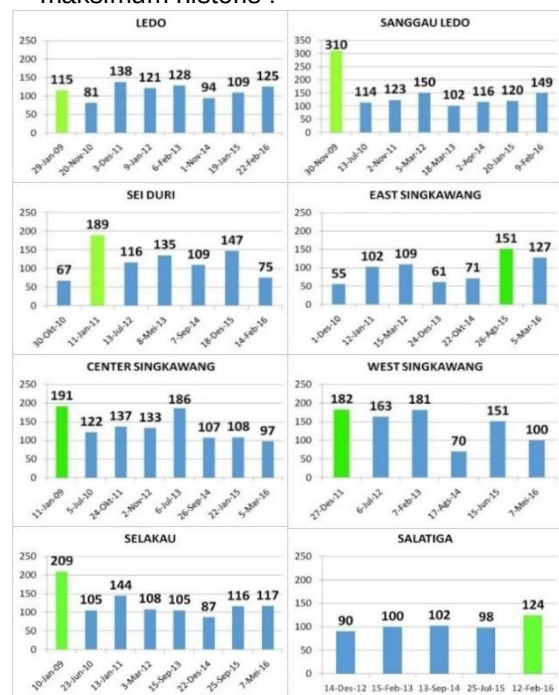
Tanggal 23 Mei 2016, seluruh pos hujan terjadi hujan kecuali pos hujan Ledo, namun lebih rendah dari 50 mm/hari. Terlihat curah hujan dengan intensitas lebat yaitu di

pos hujan Singkawang Barat (125 mm/hari). Kejadian hujan yang tercatat pada tanggal 23 Mei 2016 menunjukkan adanya kejadian hujan yang berturut-turut selama 2 hari.

Adapun yang harus dijadikan perhatian dalam analisis ini digunakan data dengan karakter klimatologis, curah hujan yang tercatat hari ini adalah kejadian hujan hari sebelumnya hingga keesokan harinya.

## 3. Curah hujan maksimum historis

Data curah hujan maksimum historis beberapa tahun selama decade terakhir juga digunakan dalam studi ini, data ini diharapkan dapat dijadikan pembanding kejadian hujan lebat pada tanggal 22 dan 23 Mei 2016. Berikut adalah diagram data curah hujan maksimum historis :



Gambar 4. Diagram batang curah hujan maksimum historis

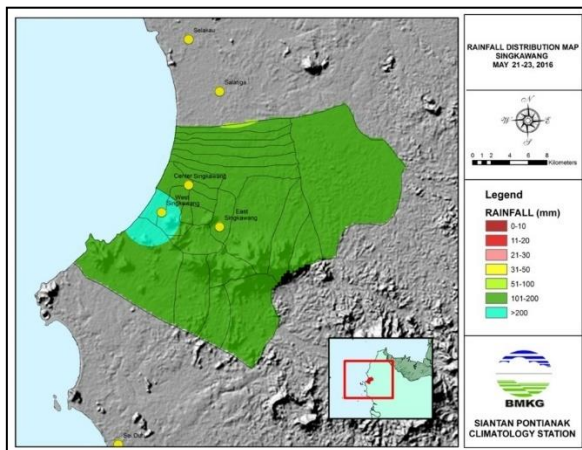
Diagram di atas menampilkan curah hujan maksimum pada 8 pos hujan selama beberapa tahun pada dekade terakhir. Curah hujan maksimum paling tinggi terjadi di pos hujan Sanggau Ledo (310 mm/hari pada 30 November 2009) terletak di kabupaten Bengkayang (pos hujan Sanggau Ledo bertepatan dengan dataran tinggi atau pegunungan dan dilewati oleh 3 DAS). Kemudian, diikuti oleh pos hujan Selakau (209 mm/hari pada 10 Januari 2009) terletak di kabupaten Sambas (terdapat DAS Selakau), dan diikuti oleh pos hujan Singkawang Tengah (191 mm/hari pada 11 Januari 2009) terletak di kota Singkawang.

Curah hujan maksimum yang terjadi di semua pos hujan di kabupaten Bengkayang bekisar antara 64 – 310 mm/hari, di kota

Singkawang bekisar antara 55 – 191 mm/hari, dan di kabupaten Sambas bekisar antara 87 – 209 mm/hari. Wilayah Bengkayang memiliki curah hujan maksimum historis paling tinggi dan kota Singkawang paling rendah. Hal ini menjadikan ketertarikan dalam studi kasus kejadian banjir, pada bab pendahuluan telah di sebutkan sedikit ulasan tentang kondisi topografi wilayah Singkawang yang paling rendah dibandingkan kabupaten Bengkayang dan Sambas, hal ini dapat dianalisis melalui tingkat intensitas curah hujan maksimum, data historis ini juga menyiratkan bahwa lokasi yang memiliki elevasi tinggi atau kemiringan lahan yang besar memiliki fluktuasi intensitas curah hujan lebih tinggi.

#### 4. Distribusi curah hujan

Data curah hujan yang telah ditampilkan pada grafik pada sub bab sebelumnya akan diakumulasi untuk dianalisis sebaran atau distribusinya. Berikut distribusi curah hujan tanggal 21 – 23 Mei 2016 yang telah terakumulasi :



Gambar 5. Peta distribusi akumulasi curah hujan 21-23 Mei 2016

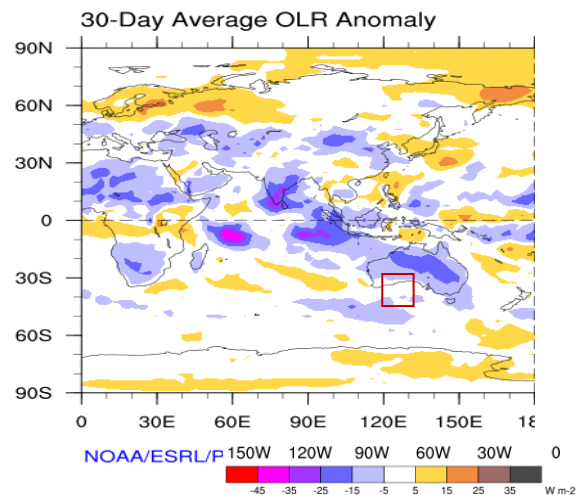
Peta distribusi curah hujan akumulasi tanggal 21 – 23 Mei 2016 diatas menggambarkan sebaran curah hujan intensitas lebat 101-200 mm pada hampir semua wilayah di Singkawang. Singkawang Barat memiliki akumulasi curah hujan paling tinggi yaitu lebih dari 200 mm. Kriteria hujan lebat per hari yang jika diakumulasi akan menjadi lebih dari 150 mm/3 hari telah ditunjukkan pada distribusi curah hujan di Singkawang tanggal 21 – 23 Mei 2016.

#### 5. Pertimbangan dinamika atmosfer dan topografi

##### a. Dinamika atmosfer

Curah hujan lebat yang tercatat pada tanggal 22 dan 23 Mei 2016 tentunya diakibatkan oleh kondisi dinamika

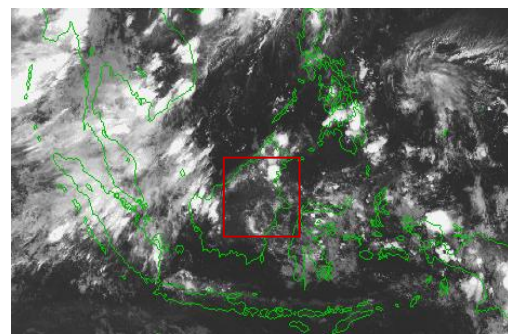
atmosfer yang fluktuatif, seperti berikut ini :



Gambar 6. Anomali OLR satu bulan terakhir

Pencitraan OLR atau *Outgoing Long wave Radiation* yang kerap kali disebut sebagai radiasi gelombang panjang merupakan energy radiasi yang tertangkap oleh satelit tanpa terhalang oleh awan. Semakin banyak awan maka OLR akan semakin rendah karena tidak dapat tertangkap oleh satelit akibat terhalang oleh tutupan awan, begitu pula sebaliknya. Pencitraan OLR di atas wilayah Kalimantan seluruhnya memiliki anomaly OLR negatif yang berarti lebih rendah daripada klimatologis atau normalnya, hal ini menunjukkan bahwa pada stau bulan terakhir ini banyak terdapat tutupan awan di wilayah Kalimantan.

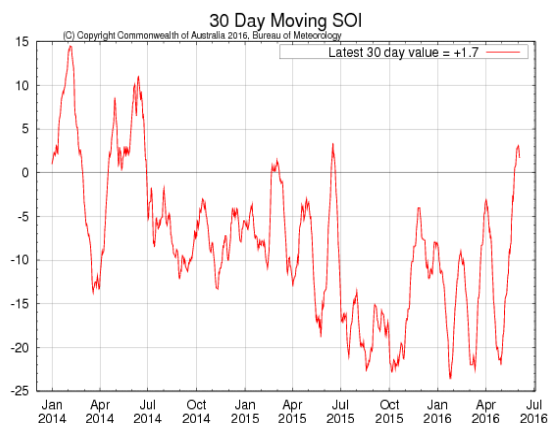
Hal ini juga didukung oleh pencitraan awan oleh MTSAT, sebagai berikut :



Gambar 7. Pencitraan MTSAT

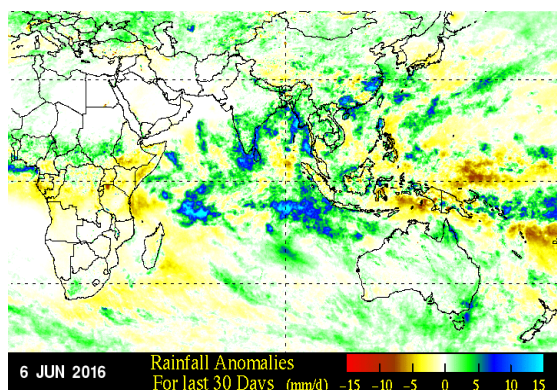
Pencitraan awan di atas memperlihatkan bahwa pada tanggal kejadian banjir pertama yaitu tanggal 21 Mei 2016 di wilayah Singkawang banyak terdapat tutupan awan dibanding wilayah sekitarnya. Hal ini didukung oleh kondisi dinamika atmosfer yang mulai memasuki La Nina, yaitu sebagai berikut :





Gambar 8. Indeks SOI

Pada Indeks Osilasi Selatan atau Southern Oscillation Index yang kerap disebut SOI menunjukkan pada bulan dan tanggal kejadian banjir, SOI mulai menuju indeks positif yang berarti memasuki La Nina, walau belum signifikan tetapi hal ini menunjukkan bahwa massa udara dari Samudra Pasifik bagian timur mulai menuju ke barat atau ke arah Indonesia. Kondisi ini tentunya mengakibatkan banyaknya massa udara yang dapat kapan saja mempengaruhi fluktuasi kondisi tutupan awan dan kejadian hujan di wilayah Indonesia. Hal ini berbanding lurus dengan anomali curah hujan TRMM, sebagai berikut :



Gambar 9. Anomali curah hujan satu bulan terakhir TRMM

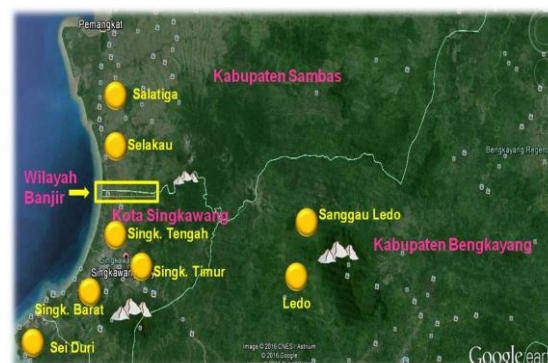
Anomali curah hujan berdasarkan TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) menunjukkan anomali positif yang mana berarti bahwa satu bulan terakhir sejak Mei lalu curah hujan meningkat atau lebih tinggi dari klimatologis atau normalnya.

Kondisi dinamika atmosfer wilayah Kalimantan khususnya Kalimantan Barat mengacu pada peningkatan curah hujan, tutupan awan yang ditunjukkan oleh anomali

OLR dan pencitraan MTSAT menunjukkan terdapat banyak tutupan awan yang mengindikasikan terdapatnya awan konvektif dan terjadi hujan, hal ini juga didukung oleh SOI yang memasuki nilai positif serta dibuktikan oleh anomali positif curah hujan TRMM yang lebih tinggi dari klimatologis atau normalnya.

### b. Topografi

Topografi merupakan kondisi relief muka bumi yang biasanya lebih dekat spesifiknya disebut geomorfologi. Topografi ini merupakan hal yang tidak bisa dilepaskan, terutama apabila banyak terdapat perbukitan, pegunungan dan daerah aliran sungai seperti halnya wilayah Kalimantan Barat. Kejadian banjir di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016 ini tidak lepas dari pengaruh topografi yang didukung oleh intensitas curah hujan yang



lebat. Berikut spesifikasi topografi wilayah-wilayah sekitar kota Singkawang (kabupaten Sambas dan Bengkayang) :

Gambar 10. Topografi wilayah Singkawang

Tabel 7. Kondisi topografi wilayah sekitar kejadian banjir

| Wilayah              | Topografi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kabupaten Sambas     | Wilayah kabupaten Sambas pada umumnya perbukitan dan hamparan yang juga terdapat daerah aliran sungai, wilayah yang berbatasan dengan Semalagi Kecil adalah Selakau, terdapat daerah aliran sungai Selakau. Kabupaten Sambas memiliki elevasi 7.2-9.8 mdpd dan kemiringan lereng sekitar 2%                                                                                                                                                      |
| Kota Singkawang      | Wilayah kota Singkawang juga terdiri atas perbukitan dan hamparan yang juga terdapat daerah aliran sungai, di Kelurahan Semalagi Kecil dilalui oleh daerah aliran sungai Semalagi. Wilayah Singkawang Utara (lokasi Semalagi Kecil memiliki elevasi 0 mdpd) sementara wilayah Singkawang lainnya, seperti wilayah Singkawang Barat, Tengah dan Timur memiliki elevasi yang lebih tinggi, yaitu sekitar lebih dari 6 mdpd (kemiringan lahan < 2%) |
| Kabupaten Bengkayang | Wilayah kabupaten Bengkayang tepatnya di wilayah Sanggau Ledo dan Ledo memiliki elevasi sekitar 106 mdpd dan sebagian besar wilayah Bengkayang memiliki kemiringan lereng 15%-40%. Kabupaten Bengkayang dilalui oleh 3 DAS yaitu DAS Sambas (722.500 Ha), DAS Sungai Raya (50.000 Ha), dan DAS Sungai Duri (24.375 Ha)                                                                                                                           |

Berdasarkan paparan kondisi topografi di kabupaten Sambas dan Bengkayang, yang berbatasan langsung dengan kota Singkawang menggambarkan bahwa kota Singkawang merupakan cekungan yang terindikasi menjadi daerah penerima air limpa dari wilayah lainnya (kabupaten

Sambas dan Bengkayang), alih-alih di wilayah kelurah Semelagi Kecil tepat berbatasan dengan DAS Sungai Selakau (Sambas).

### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kualitatif dan penggunaan metode penelitian studi kasus, maka kejadian banjir Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016 dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Kejadian banjir Singkawang dapat dikategorikan sebagai banjir kilat atau yang biasa dikenal sebagai *Flash Flood*. Karena, banjir yang terjadi di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016 diakibatkan oleh tanggul jebol yang disebabkan oleh intensitas hujan lebat yang terjadi pada tanggal 21 dan 22 Mei 2016, hal ini dibuktikan dengan curah hujan yang tercatat pada tanggal 22 dan 23 Mei 2016 lebih dari 50 mm/hari di hampir semua pos hujan (8 pos hujan), bahkan mencapai 125 mm/hari.
- Kejadian banjir Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016 disebabkan oleh : intensitas hujan lebat pada tanggal 21-22 Mei 2016 (data tercatat pada tanggal 22 dan 23 Mei 2016), sehingga memicu meningkatnya debit air sungai dan mengakibatkan tanggul jebol. Faktor penyebab lainnya adalah topografi wilayah Singkawang, kelurahan Semelagi dilalui oleh daerah aliran sungai Semelagi, memiliki elevasi pali rendah diantara wilayah lainnya, naiknya debit air diakibatkan oleh air limpaan dari tempat yang elevasinya lebih tinggi seperti Ledo, Sanggau Ledo, Selakau dan Singkawang Tengah.

Dengan adanya penelitian kejadian banjir di Singkawang tanggal 21-22 Mei 2016, masyarakat diharapkan lebih waspada terhadap potensi banjir. Masyarakat diharapkan pula agar sebaiknya menghindari pembangunan pemukiman atau tempat tinggal dekat daerah aleran sungai sebagai bentuk kewaspadaan banjir.

### D. UCAPAN TERIMA KASIH

Terselesaikannya penelitian ini merupakan kontribusi besar dari pimpinan Stasiun Klimatologi Siantan Pontianak, Bp. Wandayantolis, S.Si, M.Si. Serta, kontribusi yang sangat penting dari tim *observer* dan *forecaster* Stasiun Klimatologi Siantan Pontianak.

### E. DAFTAR PUSTAKA

- Hadisusanto, Nugroho. 2010. *Aplikasi Hidrologi*. Jogja Mediautama, Yogyakarta
- Nationally Severe Storms Laboratory (NSSL NOAA). *Types of Flood* (<http://www.nssl.noaa.gov/education/svrw/x101/floods/types/>), Diakses pada 5 Juni 2016 Pukul 13.45 WIB
- Press Release BMKG 2010 "*Kondisi Cuaca Ekstrem Dan Iklim Tahun 2010-2011*"
- Sosrodarsono, S dan Tominaga, M. 1985. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Pradnya Paramita, Jakarta
- Sambas Online. 2000. *Topografi Sambas* (<http://www.sambas.8k.com>). Diakses pada 5 Juni 2016 Pukul 15.50 WIB
- Parekraf Kabupaten Bengkayang. 2016. *Topografi dan Sungai Kabupaten Bengkayang* (<http://www.parekrafbengkayangnet.org>). Diakses pada 5 Juni 2016 Pukul 16.10 WIB
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. *Potensi Ancaman Bencana* (<http://www.bnpb.go.id>) Diakses pada 5 Juni 2016 Pukul 16.35 WIB
- Sejarah Kota. 2013. *Profil Kota Singkawang* (<http://www.labpm2.ipdn.ac.id>). Diakses pada 5 Juni 2016 Pukul 17.55 WIB
- Triadmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo, Bambang. 2010. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta



## Simulasi DYMEK untuk Pendugaan Potensi Resiko Kehilangan Hasil oleh Hama Penggerek Batang Padi Kuning di Indramayu

Eva Nurhayati<sup>1, 2</sup>, Yonny Koesmaryono<sup>1</sup>, Impron<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

<sup>2</sup>Stasiun Meteorologi Radin Inten II Bandar Lampung, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jl. Alamsyah Ratu Prawira Negara KM. 28 Branti, Lampung Selatan 35364

**Abstrak.** Penggerek Batang Padi Kuning (PBK) merupakan salah satu hama utama pada tanaman padi yang memiliki intensitas serangan cukup tinggi pada areal sentra produksi padi, khususnya di wilayah Jawa Barat. Iklim merupakan salah satu faktor eksternal lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap pola dinamika populasinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem informasi iklim melalui simulasi model DYMEK dalam rangka mengurangi tingkat resiko kehilangan hasil produksi padi oleh serangan hama PBK di wilayah Indramayu, Jawa Barat. Pendugaan resiko kehilangan hasil dapat diprediksi dari hasil pemodelan dinamika populasi hama PBK dengan membutuhkan input parameter iklim dan suhu ambang bawah perkembangan ( $T_o$ ) untuk menggambarkan siklus hidup PBK dari tahap telur, larva, pupa hingga dewasa (imago). Uji kalibrasi dan validasi model menunjukkan adanya nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara hasil prediksi model dan observasi pada wilayah kajian yang baik sehingga dapat menggambarkan perkembangan, mortalitas, transfer individu dari satu tahap ke tahap kehidupan selanjutnya serta fekunditas dan reproduksi PBK. Informasi iklim yang dapat diberikan dari data keluaran model menunjukkan perkembangan fase imago akan lebih cepat bereproduksi pada kondisi suhu tinggi dan rendahnya intensitas curah hujan sehingga dapat memicu laju perkembangan larva yang dapat merusak tanaman padi pada berbagai stadia. Dengan demikian, potensi kehilangan hasil padi dapat diduga dengan baik melalui pemodelan dinamika populasi PBK. **Kata kunci:** DYMEK, model dinamika populasi, penggerek batang padi kuning, kehilangan hasil produksi.

**Abstract.** Yellow Rice Stem Borer (YSB) is a major pest in rice plants that have a high enough intensity of attacks in area of rice production centers, especially in West Java. Climate is one of the environmental external factors which influenced the pattern of population dynamics. The purpose of this study is to develop a climate information system through simulation models DYMEK in order to reduce risk of yield loss level in rice production by YSB pest in Indramayu area, West Java. Estimation risk of yield loss can be predicted from the results of YSB pest population dynamics modeling with requires climate parameters input and YSB development under threshold of temperature ( $T_o$ ) to describe YSB life cycle from eggs, larvae, pupae to adult (imago) phase. Calibration and validation test of models showed the coefficient of determination ( $R^2$ ) between model predictions results and observations in the study area is well, which can illustrate the development, mortality, transfer of individuals from one stage to the next life also fecundity and YSB reproduction. Climate information that can be provided from a data model output shows the development of imago phase will more quickly reproduce on high temperature conditions and low rainfall intensity so able to trigger the larvae development rate that can damage rice plants at various stages. Thus, the potential rice yield loss can be well predicted through YSB population dynamics modeling. **Keywords:** DYMEK, population dynamic model, yellow rice stem borer, yield loss production.

### Pendahuluan

Hama merupakan salah satu penyebab utama penurunan produktivitas tanaman.

Penggerek Batang padi Kuning (PBK) atau *Scirpophaga incertulas* (Walker) merupakan salah satu hama penting pada pertanaman padi di Indonesia, khususnya di Jawa Barat. Berdasarkan data luas serangan hama di Jawa Barat pada tahun 2006, hama PBK menempati peringkat pertama, yaitu seluas 112.950 ha, namun pada tahun 2010 luas serangannya menurun menempati peringkat kedua setelah wereng batang coklat yaitu seluas 35.433 ha (BBPOPT 2010). Namun berdasarkan hasil monitoring Tim Proteksi Tanaman Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (2015) pada tahun 2011, 2012, 2013 dan 2014 hama PBK kembali menempati peringkat pertama. PBK merupakan hama *holometabola*, siklus hidupnya terdiri atas stadia telur, larva, pupa dan dewasa (imago). Larva merupakan stadia yang menggerek tanaman sehingga menimbulkan kerusakan pada berbagai stadium pertumbuhan tanaman padi.

Siklus hidup PBK membutuhkan kondisi lingkungan, seperti iklim yang sesuai dengan perkembangannya. Perkembangan hama PBK sangat dominan dipengaruhi oleh faktor iklim yang sangat berpengaruh nyata terhadap pola dinamika populasinya seperti fisiologi, kelimpahan, fenologi dan distribusi geografisnya (Shi *et al.* 2011). Lebih lanjut berdasarkan laporan Litsinger *et al.* (2006) dan Estay *et al.* (2009), penyebab munculnya PBK dapat diduga sebagai akibat dari adanya perubahan iklim. Dengan memahami siklus hidup PBK dalam ekosistemnya dengan baik, akan memberikan gambaran tinggi rendahnya populasi serta kerusakan dan kehilangan hasil produksi yang disebabkan oleh hama tersebut. Untuk itu, diperlukan pengembangan sistem informasi iklim guna meningkatkan produktivitas pertanian sebagai wujud adaptasi terhadap perubahan iklim sejak dini dalam menerapkan tindakan pengendalian hama PBK yang efektif.

Indramayu merupakan salah satu wilayah endemik hama PBK yang terletak di bagian utara Jawa Barat dan terkenal sebagai wilayah sentra produksi padi yang memiliki cukup besar kontribusinya dalam produktivitas padi nasional. Dilihat dari kondisi iklimnya, umumnya daerah ini merupakan wilayah tropis yang memiliki musim kemarau dan musim hujan yang jelas (*monsoonal*) serta bertopografi dataran rendah yang dipengaruhi oleh angin laut dari Pantai Utara (Pantura) sehingga memiliki karakteristik iklim yang cenderung kering. Kondisi seperti ini sangat disukai oleh hama PBK, sehingga keberadaan hama ini di wilayah Indramayu selalu ada setiap musimnya. Dalam hal ini,

Model DYMEX dapat membantu memprediksi dinamika populasi dengan baik yang meliputi proses perkembangan dan mortalitas, kelimpahan dan waktu puncak populasi PBK pada kondisi iklim yang cenderung fluktuatif (Koem 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem informasi iklim melalui simulasi model DYMEX untuk mengurangi tingkat resiko kehilangan hasil produksi padi oleh serangan hama PBK di wilayah Indramayu, Jawa Barat.

## Metodologi

### Data Analisis dan Alat

Data iklim harian wilayah Jatiwangi (6°45' LS - 108°06' BT, 50 mdpl) diperoleh dari Stasiun Klimatologi Dramaga-Bogor (1 Januari 1996 - 31 Desember 2015) berupa data suhu minimum dan maksimum, kelembaban minimum dan maksimum serta curah hujan. Untuk data *light trap* populasi harian imago diperoleh dari Instalasi PPOPT Kab. Indramayu (1 Januari 2003 - 31 Desember 2009). Data populasi imago PBK observasi ini digunakan untuk uji kalibrasi dan validasi populasi imago dari hasil luaran model. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak DYMEX 3.0 untuk menganalisis dinamika populasi PBK dan menduga kehilangan hasil produksi padi yang diakibatkan oleh serangan larva hama PBK serta *Microsoft Excel* untuk pengolahan data dan uji statistik.

### Potensi Kehilangan Hasil Produksi Padi Melalui Simulasi Pemodelan Dinamika Populasi PBK

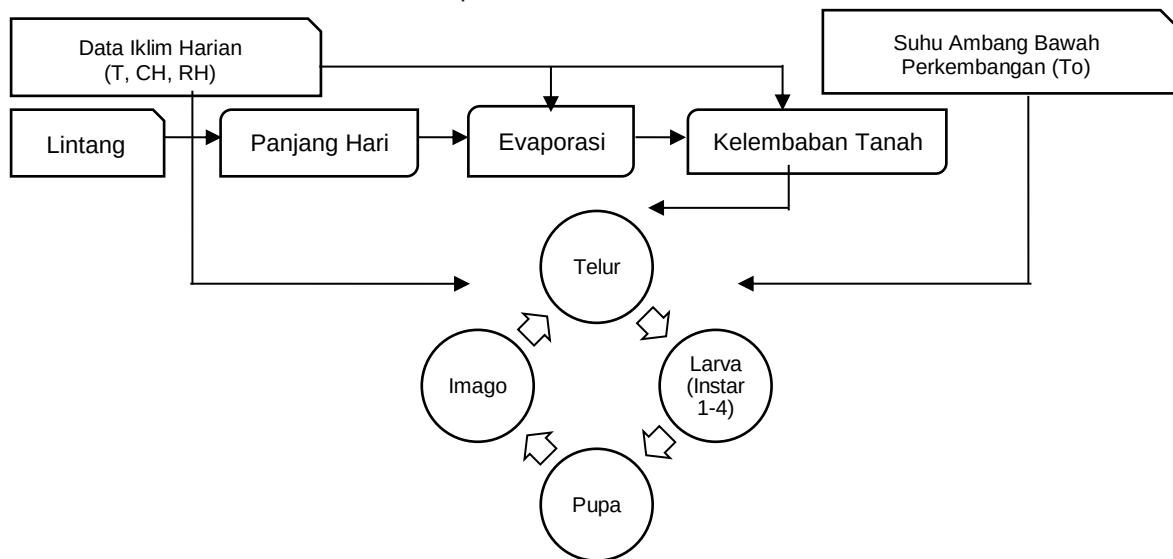
Model DYMEX digunakan untuk melakukan analisis hubungan antara pengaruh iklim terhadap dinamika populasi suatu organisme di dalam lingkungannya pada suatu wilayah tertentu (Maywald 2007b). DYMEX terdiri dari dua bagian, yaitu DYMEX Model Builder (untuk membangun model) dan DYMEX Model Simulator (untuk menjalankan model yang sudah dibangun dalam Builder). Pemodelan PBK dibangun dari dua input komponen utama, yaitu paramater iklim dan suhu ambang bawah perkembangan (*To*) yang dapat diproses dalam modul siklus hidup (*lifecycle module*). Sebagai input awal model, *timer module* dan letak lintang (*query user/latitude module*)

sangat diperlukan untuk penentuan nilai panjang hari (*daylength*) kemudian dengan penambahan variabel input suhu dan kelembaban udara dapat menduga nilai evaporasi (*evaporation*). Selanjutnya nilai evaporasi bersama variabel input curah hujan akan menduga nilai kelembaban tanah (*soil moisture*) yang dapat diestimasi di dalam DYMEK (Gambar 1). Penentuan nilai suhu ambang bawah perkembangan ( $T_o$ ) PBK diperoleh dari nilai laju perkembangan ( $Development\ Rate=DR$ ). Lauziere *et al.* (2002) menentukan nilai DR pada setiap fase menggunakan persamaan  $DR = 1/d$ , dimana nilai  $d$  merupakan periode perkembangan (hari) fase telur, larva dan pupa PBK pada suhu konstan 15-35°C (Rahman dan Khalequzzaman 2004). Selanjutnya penentuan nilai  $T_o$  pada setiap fase perkembangan PBK tersebut ditentukan dengan model regresi linier antara nilai DR dan  $T_o$  berdasarkan persamaan  $y = a+bx$ , dengan  $y = DR$ ;  $x = T_o$ ;  $a$  dan  $b=konstanta$ , sedangkan untuk menentukan  $T_o$  pada fase imago menggunakan persamaan  $DD = d (T - T_o)$ , dimana DD merupakan *Degree Days* (derajat hari) dan  $T$  merupakan suhu tertinggi yang dibutuhkan untuk perkembangan imago, yaitu pada suhu konstan 35°C (Lauziere *et al.* 2002; Nahrung *et al.* 2008).

Proses berikutnya adalah pengaturan parameter mortalitas dalam model yang dipengaruhi oleh suhu minimum dan kelembaban tanah (Maywald *et al.* 2007b). Tahapan transfer (*stage transfer*) dimana seluruh fase mentransfer setelah mencapai

perkembangan penuh, yaitu mencapai usia fisiologis (*physiological age*) = 1 dimana usia fisiologis pada setiap waktu akan sama seperti akumulasi derajat hari di atas ambang suhu perkembangan (Yonow *et al.* 2004; Maywald *et al.* 2007a; Nahrung *et al.* 2008). Tahapan terakhir adalah mengetahui parameter fekunditas dan reproduksi hama PBK. Fekunditas merupakan kemampuan serangga bereproduksi yang dimodelkan dalam bentuk parameter potensial telur PBK (Suharto dan Usyati 2008; Krishnaiah *et al.* 2004). Pada proses reproduksi PBK diasumsikan dikendalikan oleh siklus suhu harian dan curah hujan (Yonow *et al.* 2004; Krishnaiah *et al.* 2004).

Inisialisasi model dilakukan sebelum menjalankan Model Simulator meliputi pengaturan berbagai nilai yang diperlukan untuk menjalankan model (Maywald *et al.* 2007b) dan standar inisialisasi diterapkan untuk memastikan peniruan hasil untuk simulasi (Yonow *et al.* 2004). Proses kalibrasi dan validasi model dilakukan apabila nilai yang tercapai dapat memenuhi tingkat keakuratannya diatas nilai 37%, model dapat dinilai cukup baik (Yonow *et al.* 2004). Evaluasi kebaikan model mengacu pada indeks statistik koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara 0 – 1.



**Gambar 1.** Diagram dinamika populasi PBK dalam Model DYMEK

Simulasi model menggunakan data iklim harian dengan periode *baseline* 20 tahun (1 Januari 1996 – 31 Desember 2015) di wilayah Indramayu. Maywald *et al.* (2007a) mengasumsikan fungsi kerusakan atau potensi resiko kehilangan hasil produksi tanaman ( $y$ ) terjadi hanya pada fase larva instar 3 dan 4 yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada tanaman inang, sehingga persamaan yang diperoleh adalah  $y = [(p_1)(x_1) + (p_2)(x_2)]$ . Parameter ( $p$ ) dalam fungsi merupakan kerusakan relatif yang dilakukan per individu setiap harinya dalam akumulasi kerusakan oleh populasi larva bulanan. Serangan tertinggi hama PBK oleh larva instar 3 diasumsikan sebagai variabel 1 ( $x_1$ ) dan larva instar 4 sebagai variabel 2 ( $x_2$ ), sedangkan nilai parameter larva instar 3 ( $p_1$ ) yang diberikan sebesar 0.0001 dan parameter larva instar 4 ( $p_2$ ) sebesar 0.0003. Hasil simulasi dapat disajikan baik dalam bentuk tabel, grafik maupun peta (Maywald *et al.* 2007b).

## Hasil dan Pembahasan

### Penentuan Nilai Suhu Ambang Bawah Perkembangan ( $T_o$ ) untuk Membangun Model Prediksi Dinamika Populasi PBK

Model DYMEX dapat mengidentifikasi tahapan kehidupan dalam siklus hidup suatu organisme yang merupakan serangkaian proses mengenai perkembangan, mortalitas, transfer individu dari satu tahap ke tahap kehidupan berikutnya, fekunditas dan reproduksi (Nahrung *et al.* 2008). *Software* ini dapat mempermudah para ekologis dalam membuat model populasi organisme tanpa harus mengetahui bahasa pemrograman. Model dibangun cukup sederhana, tetapi mampu memberikan hasil yang cukup akurat dalam memprediksi generasi dan puncak populasi kelimpahan hama PBK.

Parameter iklim dan penentuan suhu ambang bawah perkembangan ( $T_o$ ) merupakan input utama yang diperlukan untuk memprediksi kejadian kelimpahan atau dinamika populasi hama PBK. Dalam perkembangannya, sampai saat ini kebanyakan penelitian masih dilakukan di daerah subtropis seperti Australia (Yonow *et al.* 2004), sehingga perlu dilakukan kajian mengenai hal ini untuk wilayah tropis, khususnya di Indonesia. Dengan menggunakan model regresi linier Lauziere *et al.* (2002), nilai  $T_o$  PBK dapat diperoleh setelah menghitung nilai DR ( $1/d$ ) pada setiap fase perkembangan PBK berturut-turut sebesar 0,040, 0,095, 0,104, 0,180, 0,366 (telur), 0,013, 0,018, 0,044, 0,063, 0,065 (larva) dan 0,063, 0,079, 0,105, 0,175, 0,248 (pupa) pada suhu konstan 15-35°C. Nilai DR yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai  $T_o$  dimana tidak terjadi perkembangan pada setiap fase PBK (DR=0), sehingga diperoleh  $T_o$  sebesar 14,39°C, 11,3°C, dan 10,65°C berturut-turut untuk fase telur, larva dan pupa, sedangkan untuk menentukan nilai  $T_o$  pada fase imago menggunakan nilai *Thermal Constant* atau *Degree Days* (DD) dan usia rata-rata (hari) yang dilaporkan oleh Rahman dan Khalequzzaman (2004), yaitu sebesar 75,16 DD dan 4,76 hari sehingga diperoleh nilai  $T_o$  untuk fase imago, yaitu sebesar 19,22°C (Tabel 1). Nilai-nilai pada Tabel 1 akan dijadikan acuan dalam menyusun data input pada Model Builder, khususnya untuk parameter dan konstanta yang akan digunakan pada modul *lifecycle* PBK.

**Tabel 1.** Hasil penentuan nilai  $T_o$  untuk perkembangan PBK pada fase telur, larva, pupa dan imago

| Fase Perkembangan PBK | Persamaan Regresi <sup>a</sup> | R <sup>2</sup> | To (°C) | DD (°hari) | d (hari) | DR (hari <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------|----------------|---------|------------|----------|--------------------------|
| Telur                 | $y = 0.0147x - 0.2115$         | 0.84           | 14.39   | 56.27      | 2.73     | 0.367                    |
| Larva                 | $y = 0.003x - 0.0339$          | 0.93           | 11.30   | 365.22     | 15.41    | 0.065                    |
| Pupa                  | $y = 0.0093x - 0.099$          | 0.92           | 10.65   | 98.13      | 4.03     | 0.248                    |
| Imago                 | -                              | -              | 19.22   | 75.16      | 4.76     | 0.224                    |

<sup>a</sup>Rentang suhu 15–35°C; Model regresi linier  $y = a + bx$ , ( $y$ =Development Rate=DR=0,  $x = T_o$ ,  $a$  dan  $b$  adalah konstanta); R<sup>2</sup> : koefisien determinasi; DD: Degree Days; d: periode perkembangan

| Fase Perkembangan PBK | Persamaan Regresi <sup>a</sup> | R <sup>2</sup> | To (°C) | DD (°hari) | d (hari) | DR (hari <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------|----------------|---------|------------|----------|--------------------------|
| Telur                 | $y = 0.0147x - 0.2115$         | 0.84           | 14.39   | 56.27      | 2.73     | 0.367                    |
| Larva                 | $y = 0.003x - 0.0339$          | 0.93           | 11.30   | 365.22     | 15.41    | 0.065                    |
| Pupa                  | $y = 0.0093x - 0.099$          | 0.92           | 10.65   | 98.13      | 4.03     | 0.248                    |
| Imago                 | -                              | -              | 19.22   | 75.16      | 4.76     | 0.224                    |



Keeratan yang tinggi antara hubungan suhu dasar lingkungan (suhu ambang bawah perkembangan) terhadap laju perkembangan disebabkan oleh respon setiap serangga khususnya PBK terhadap perubahan suhu lingkungan akan mempengaruhi proses metabolisme di dalam tubuhnya. Suhu dasar lingkungan sangat penting terutama bagi hewan *poikilothermal* untuk aktivitas dan pengaruh laju perkembangannya yang memiliki fungsi linier, terutama yang akan mempengaruhi waktu fisiologisnya. Konsep ini sangat penting dan merupakan hal mendasar dalam memahami hubungan antara perubahan suhu lingkungan terhadap dinamika populasi, khususnya dalam memahami tingkat terjadinya kehidupan, reproduksi, laju perkembangan populasi, puncak kelimpahan, laju mortalitas, usia sampai keragaman spesies. Oleh karena itu, menentukan suhu ideal untuk perkembangan PBK dalam memodelkan fenologi atau dinamika populasinya sangatlah penting untuk dilakukan, karena faktor lingkungan seperti suhu akan sangat mempengaruhi kelimpahan PBK dalam ukuran yang berbeda pada setiap wilayah kajian.

Setelah Model Builder terbentuk, inisialisasi parameter dalam Model Simulator digunakan untuk menentukan jumlah populasi awal pada setiap fase perkembangan dengan berasumsi model simulasi yang akan dijalankan dapat memenuhi kondisi jumlah populasi di lapangan secara nyata, walaupun faktor selain iklim diabaikan. Manikandan (2013) mengasumsikan waktu yang dibutuhkan setiap fase perkembangan PBK pada pemberian suhu konstan 28-36°C dapat mempengaruhi periode perkembangannya yang lebih singkat, namun apabila suhu yang diberikan diatas 36°C berpotensi menurunkan jumlah populasi telur, larva, pupa hingga imago sebesar 50% (tingkat mortalitas 0.5). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar populasi PBK diatas kondisi suhu yang lebih tinggi akan mengalami kondisi tidak aktif (*aestivasi*) bahkan mortalitas yang lebih cepat apabila suhu dinaikan terus hingga >40°C (Rahman dan Khalequzzaman 2004), karena mereka tidak mampu lagi untuk mentolerir kondisi tersebut. Oleh sebab itu, berdasarkan data tangkapan lampu (*light trap*) di wilayah Indramayu diperoleh rata-rata 10 ekor imago betina PBK per malam, maka apabila diasumsikan potensial telur(fekunditas) sebesar 400 butir akan terdapat 4000 telur, kemudian yang berhasil menetas menjadi larva instar awal sebanyak 2000 larva, larva lulus menjadi pupa sebesar 1000 pupa dan terakhir pupa menjadi imago sebesar 500

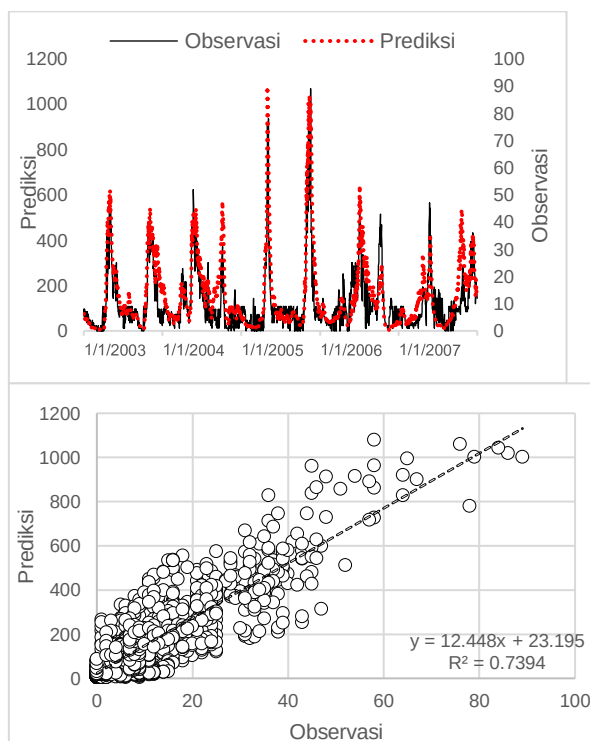
ekor imago. Hal ini dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Banjarnahor (2013).

Proses kalibrasi model dilakukan pada wilayah kajian menggunakan data populasi imago PBK harian yang tersedia di lapangan hasil pengamatan *light trap* (1 Januari 2003 – 31 Desember 2007) terhadap luaran model dengan menguji parameter mortalitas pada perkembangan PBK fase imago. Model dibangun dengan mengabaikan faktor musuh alami (agens hayati) dalam parasitasi telur, aplikasi pestisida, teknik irigasi, penggunaan varietas padi maupun pengaruh tanaman inang terhadap jumlah populasi PBK yang dapat menyebabkan tingkat mortalitas. Pengaturan parameter mortalitas dilakukan pada setiap fase perkembangan, khususnya imago. Diasumsikan nilai parameter tersebut mencakup pengaruh yang dapat menyebabkan tinggi rendahnya mortalitas pada setiap fase PBK diluar faktor iklim. Diasumsikan mortalitas konstan pada fase telur, larva dan pupa sebesar 0.01 per hari, sedangkan mortalitas imago dimodelkan dengan menggunakan nilai mortalitas sebesar 0.1 per hari, sehingga dapat mengurangi jumlah populasi sebesar 10% (Maywald *et al.* 2007b). Nilai mortalitas yang paling baik adalah yang dapat mendekati pola fluktuasi data observasi. Variasi nilai mortalitas imago yang diujikan dari nilai 0.1 sampai 0.25 per hari. Semakin tinggi parameter mortalitas imago yang diterapkan, maka model kurang memberikan hasil yang baik, karena jumlah populasi luaran model akan semakin kecil.

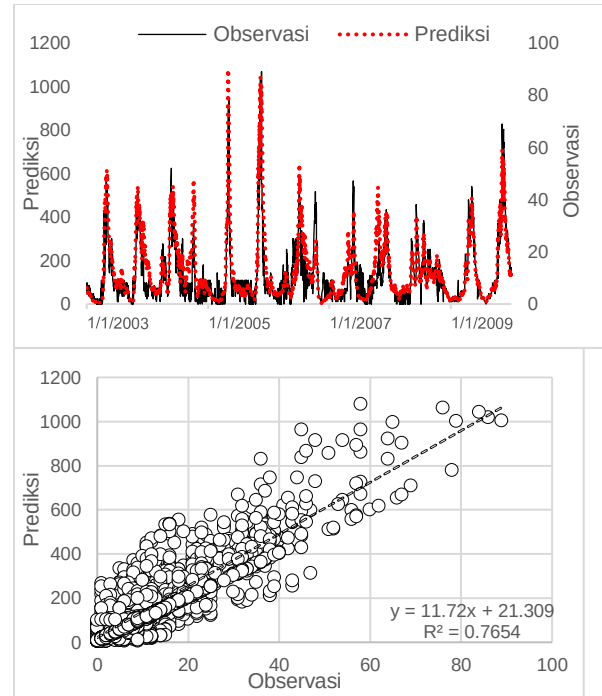
Nilai yang paling baik pada proses kalibrasi diperoleh pada tingkat mortalitas 0.1 per hari yang ditunjukkan oleh hubungan yang kuat dan berkorelasi positif dengan nilai  $R^2$  sebesar 0.74. Kondisi ini dapat menggambarkan prediksi puncak kelimpahan populasi imago PBK secara spesifik jumlah populasi per harinya. Walaupun antara keduanya memiliki selisih jumlah populasi yang cukup besar, dimana jumlah populasi hasil prediksi lebih tinggi dari jumlah populasi observasinya, namun antara keduanya memiliki kecenderungan pola fluktuasi yang sama (Gambar 2a dan 2b). Banyak faktor di lapangan yang dapat mempengaruhi kecilnya jumlah populasi observasi, seperti kondisi luasan sawah, luasan tanam, kondisi teknis atau kerusakan alat pada lampu *light trap*, letak penempatan *light trap* terhadap kondisi sekitar, maupun pengaruh kondisi terang bulan karena PBK merupakan salah satu serangga nokturnal. Oleh karena itu, pemanfaatan data *light trap* di lapangan sangat diperlukan sebagai salah satu

tindakan preventif dalam pengendalian hama PBK, yaitu dengan memantau fluktuasi populasi suatu wilayah maupun berasal dari populasi migrasi, sehingga dapat diketahui periode puncak penerbangan imago PBK dan untuk menunjang keakuratan validasi model DYMEK.

Validasi model dilakukan pada waktu yang lebih panjang, yaitu mulai dari 1 Januari 2003 - 31 Desember 2009. Hasil uji statistik pada proses validasi model dengan baik dapat memprediksi puncak kelimpahan populasi selama periode simulasi dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,77 (Gambar 3a dan 3b). Tingkat akurasi antara hasil kalibrasi dan validasi model menunjukkan hasil yang cukup tinggi yaitu diatas nilai 37%, sehingga model dapat dinilai cukup baik, dimana dapat memberikan gambaran bahwa dinamika populasi PBK di wilayah Indramayu dipengaruhi cukup kuat oleh faktor iklim. Selanjutnya model dapat digunakan untuk mensimulasi respon PBK pada kondisi iklim saat ini (aktual) pada periode *baseline* tahun 1996-2015 ( $\pm 20$  tahun).



**Gambar 2.** (a) Pola dinamika populasi imago hasil kalibrasi dengan mortalitas 0.1 per hari (1/1/2003 hingga 31/12/2007) (b) Koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara populasi imago PBK prediksi dan observasi hasil kalibrasi

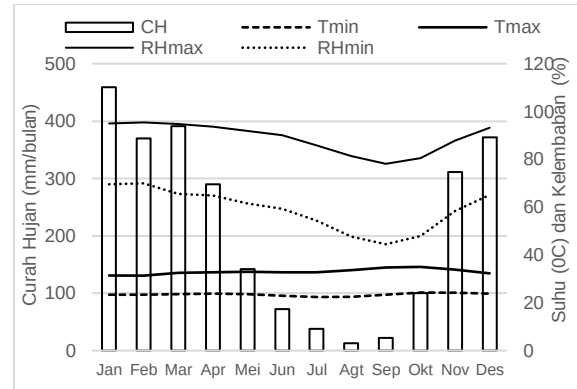
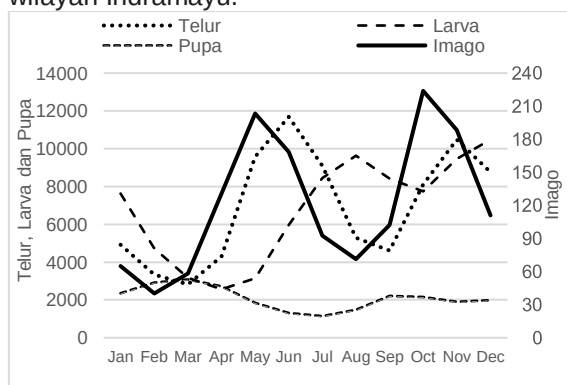


**Gambar 3.** (a) Pola dinamika populasi imago hasil validasi (1/1/2003 hingga 31/12/2009) (b) Koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara populasi imago PBK prediksi dan observasi hasil validasi

Simulasi model pada kondisi iklim aktual rata-rata bulanan dalam setiap musim tanam di wilayah Indramayu menunjukkan terdapat kecenderungan kelimpahan atau puncak populasi imago terjadi pada saat adanya penurunan intensitas curah hujan ( $< 300$  mm/bulan), yaitu pada bulan April hingga Mei dan terjadi kelimpahan populasi kembali pada bulan September hingga Oktober ketika curah hujan mulai meningkat kembali ( $> 100$  mm/bulan) dengan jumlah populasi imago  $> 200$  ekor/bulan. Hal ini didukung oleh penelitian Banjarnahor (2013) yang membuktikan bahwa curah hujan berkisar antara 0-30 mm/minggu menjadi curah hujan yang ideal untuk perkembangan imago PBK sehingga populasi imago cenderung tinggi dan lebih cepat berkembang pada kondisi tersebut. Lebih lanjut berdasarkan hasil penelitiannya Suharto dan Sembiring (2007) juga menjelaskan bahwa populasi imago PBK biasanya meningkat menjelang berakhirnya musim hujan. Kondisi iklim optimum pada saat masa peralihan musim tersebut berada pada kondisi ideal untuk perkembangan imago PBK di wilayah Indramayu, dimana suhu minimum dan maksimum bulanan yang tercapai sebesar  $23.3-24.2^{\circ}\text{C}$  dan  $32.9-35.0^{\circ}\text{C}$  serta kelembaban udara minimum dan maksimum

berada pada kisaran 44.5-64.9% dan 78.1-93.7%. Kondisi sebaliknya terjadi dimana populasi imago PBK paling rendah terjadi pada saat bulan Januari hingga Maret yang berada pada nilai <60 ekor/bulan yang terjadi pada saat adanya peningkatan intensitas curah hujan  $\pm 300$ -400 mm/bulan (Gambar 4a dan 4b). Hal ini dapat saja diakibatkan oleh tingginya curah hujan yang mengakibatkan mortalitas yang tinggi dalam perkembangan imago PBK. Lebih lanjut Banjarnahor (2013) menjelaskan pada saat curah hujan >100 mm/minggu, populasi imago PBK cenderung akan mengalami penurunan yang sangat drastis.

Prediksi puncak kelimpahan dan jumlah populasi imago PBK bulanan/musimam secara spesifik di wilayah Indramayu pada umumnya akan terjadi pada saat memasuki bulan Oktober atau Musim Tanam Pertama (MT. I) dan Mei atau Musim Tanam Kedua (MT. II) dengan populasi sebesar >200 ekor yang diikuti kemunculan puncak populasi telur pada bulan Juni (MT. I) dan November (MT. II) sebesar  $\pm 12000$  telur, kemudian puncak populasi larva mencapai  $\pm 10000$  larva pada bulan Agustus (MT. II) dan Desember (MT. I) serta kelimpahan pupa meningkat pada bulan Januari hingga Maret (MT. I) dan September hingga November (peralihan musim tanam) yang akan mencapai  $\pm 2000$ -3000 pupa. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh iklim sangat berpengaruh besar terhadap perkembangan dan pola dinamika populasi hama PBK di wilayah Indramayu.



**Gambar 4.** (a) Pola dinamika populasi PBK hasil simulasi rata-rata bulanan (1996-2015) (b) Karakteristik iklim rata-rata bulanan di wilayah Indramayu

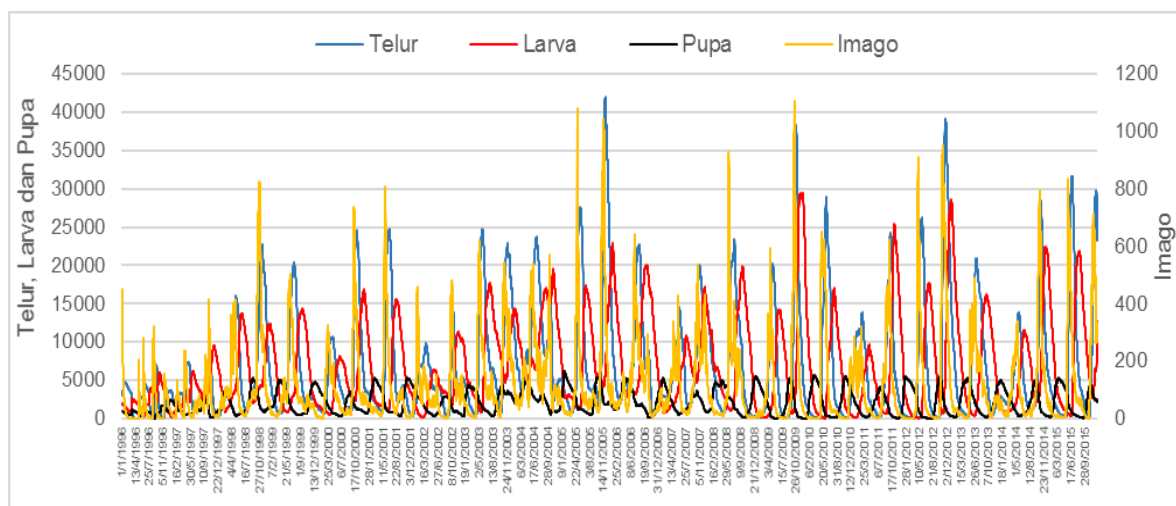
Hasil simulasi harian model menunjukkan bahwa perkembangan dinamika populasi PBK di Indramayu pada kondisi normal keberadaannya selalu ada, namun jumlahnya relatif masih dalam kondisi yang tidak mengkhawatirkan (ambang bawah kendali). Hal ini memungkinkan perkembangan PBK di wilayah Indramayu tidak lepas dari kondisi lingkungan yang sesuai untuk perkembangannya baik dari segi iklim, ketersediaan makanan maupun keberadaan musuh alamnya di lapangan. Pada kondisi normal ini, kelimpahan populasi imago PBK cenderung terjadi pada saat menjelang akhir musim hujan dan setelah musim kemarau berakhir atau pada saat memasuki awal musim hujan kembali pada setiap tahunnya. Namun, potensi yang memicu ledakan hama PBK oleh faktor iklim cenderung dapat saja terjadi pada saat adanya fenomena perubahan iklim ekstrim, seperti pasca saat adanya fenomena perubahan iklim ekstrim, fenomena El Nino kuat tahun 1997 yang kemudian diikuti La Nina sedang menunjukkan adanya ledakan hama PBK yang sangat tinggi pada saat menjelang musim hujan tahun 1998 (MT. 1998/1999), atau ledakan terjadi pada saat kondisi normal hingga La Nina sedang yang diikuti El Nino lemah hingga sedang pada MT. 2000/2001, MT. 2005, MT. 2005/2006, MT. 2008, MT. 2009/2010, MT. 2011/2012, MT. 2012, MT. 2013/2014, MT. 2014/2015, MT. 2015 dan MT. 2015/2016 (Gambar 5). Hal ini disebabkan pada saat terjadi kondisi lingkungan ekstrim seperti fenomena El Nino dan La Nina, perubahan distribusi curah hujan dapat membawa pengaruh yang cukup besar bagi organisme disekitarnya termasuk pada hama yang cenderung berubah secara drastis (Koesmaryono et al. 2005).

Kelimpahan populasi PBK setiap fase menunjukkan tingginya suhu pada kondisi ekstrim, sehingga memicu laju perkembangan PBK, tingkat mortalitas rendah dan secara langsung akan mempengaruhi usia perkembangan PBK yang relatif singkat. Selain itu, pada perkembangan fase imago akan lebih cepat bereproduksi pada kondisi suhu tinggi dan rendahnya intensitas curah hujan. Kondisi ini juga mendukung penyebaran imago lebih aktif sampai pada peletakan telurnya. Variabel iklim berupa curah hujan berkisar antara 5-40 mm/minggu atau lebih digunakan sebagai nilai acuan puncak aktivitas munculnya imago betina PBK untuk bereproduksi atau merupakan kondisi paling ideal imago PBK untuk meletakkan telurnya (Yonow *et al.* 2004; Krishnaiah *et al.* 2004). Hal ini didukung oleh penelitian Banjarnahor (2013) membuktikan bahwa curah hujan antara 0-30 mm/minggu menjadi curah hujan yang ideal untuk perkembangan imago PBK sehingga populasi imago cenderung tinggi dan lebih cepat berkembang pada kondisi tersebut. Sedangkan pada saat curah hujan lebih besar dari 100 mm/minggu populasi imago cenderung akan mengalami penurunan yang sangat drastis.

Beberapa literatur terkait menjelaskan pada kondisi normalnya, setiap betina PBK mampu memproduksi telur sebanyak 100-600 butir (Suharto dan Usyati 2008) dan usia rata-rata jantan dan betina masing-masing 2.5 dan 5.09 hari (Krishnaiah *et al.* 2004) serta dengan mengasumsikan bahwa *sex ratio* antara jantan dan betina adalah 1:2, maka diperoleh potensial produksi telur kurang lebih sebanyak 400 butir per kelompok telur. Pada proses reproduksi PBK diasumsikan dikendalikan oleh siklus suhu harian dan curah hujan. Reproduksi akan meningkat jika

siklus suhu harian diurnal berkisar antara 17-27°C dan optimum pada suhu 23.5°C. Hal ini didasarkan pada suhu minimum rata-rata wilayah kajian yang mewakili Kab. Indramayu. Adapun penggunaan suhu minimum ini dapat digunakan sebagai indikator reproduksi disebabkan imago betina PBK bereproduksi dan meletakkan telur pada malam hari (bersifat nokturnal). Oleh karena itu, suhu minimum rata-rata dinilai cukup tepat untuk digunakan dalam keberhasilan proses penetasan telur menuju tahapan berikutnya.

Laju perkembangan PBK pada fase larva memiliki nilai mortalitas rendah disebabkan larva terlindungi batang padi sehingga dapat terhindar dari pengaruh negatif lingkungan. Faktor iklim yang dapat memicu tingkat kenyamanan bahkan mortalitasnya dalam tahapan ini adalah kelembaban tanah yang sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu minimum



Gambar 5. Pola dinamika populasi PBK hasil simu



dan curah hujan. Ketika musim hujan larva bermetamorfosis menjadi pupa hingga menjadi imago dan imago bertelur kembali dengan cepat. Apabila semakin tinggi suhu, maka laju perkembangan larva ke tahap berikutnya akan semakin cepat. Ditambah apabila keberadaan tanaman inang dan ketersediaan air yang selalu ada setiap musim tanam. Hal inilah yang dapat menyebabkan puncak kelimpahan atau ledakan hama PBK menjadi sangat tinggi, dimana dalam satu musim tanam potensi kelimpahan dapat saja terjadi 1-2 generasi populasi PBK.

*Pendugaan Potensi Resiko Kehilangan Hasil Produksi Padi oleh Hama PBK*

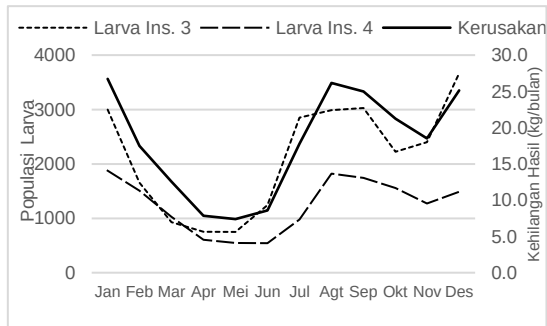
Upaya pengendalian PBK menjadi penting dilakukan untuk mengurangi kehilangan hasil produksi padi. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya untuk mengatasi masalah tersebut yang dapat dilakukan melalui pengembangan model prediksi dinamika populasi PBK. Setelah model prediksi dinamika populasi terbentuk, maka pendugaan potensi kehilangan hasil produksi padi oleh serangan larva hama PBK dapat dilakukan dengan menambahkan *equation module*. Input yang digunakan adalah variabel populasi pada larva instar 3 dan 4 diasumsikan merupakan stadia PBK yang menyebabkan kerusakan paling tinggi (Maywald *et al.* 2007a).

Kehilangan hasil akibat serangan larva hama PBK pada stadium vegetatif (sundep) dapat dikompensasi dengan pembentukan anakan baru, dimana tanaman masih sanggup mengkompensasi akibat kerusakan sampai 30%, sedangkan serangan pada stadium generatif (beluk) menyebabkan malai tampak putih dan hampa dan kerugian hasil yang disebabkan setiap persen gejala beluk berkisar 1-3% atau rata-rata 1.2% (Pathak dan Khan 1994). Serangan hama ini juga dapat menyebabkan kehilangan hasil produksi rata-rata pada setiap wilayah sentra produksi padi di Asia berkisar 2-5% (Chen 2008 *dalam* Suharto dan Usyati 2008) dan di Indonesia khususnya sebesar 6-10% pada setiap musim tanam yang menjadi acuan untuk menetapkan ambang pengendalian PBK berdasarkan pemantauan populasi tangkapan imago maupun tingkat kerusakan tanaman oleh serangan larva PBK. Penetapan ambang kendali tersebut berdasarkan kerusakan tanaman pada stadia vegetatif 6% dan pada stadia generatif 10% (Direktorat Perlindungan Tanaman 2002).

Pendugaan potensi kehilangan hasil produksi padi oleh serangan larva hama PBK

paling tinggi di wilayah Indramayu (diasumsikan dalam luasan sawah 1 ha) terjadi pada saat puncak musim hujan (Januari) maupun kemarau (Agustus) yang berpotensi lebih dari 20 kg/ha/bulan, dimana jumlah populasi larva instar 3 dan 4 mencapai >3000 ekor larva (Gambar 6). Apabila ini terjadi pada saat puncak musim hujan, kemungkinan besar gejala serangan beluk akan memiliki peluang lebih tinggi karena tanaman padi berada pada masa bunting (akhir MT. I), sedangkan apabila terjadi pada saat puncak musim kemarau, potensi gejala sundep akan berpeluang lebih tinggi dengan catatan apabila masih dilakukan penanaman padi pada MT. II kedua (Agustus-Oktober) yang dibantu dengan ketersediaan air irigasi. Rubia *et al.* (1990) menjelaskan bahwa kehilangan hasil padi akibat gejala sundep dapat tidak sebanding dengan tingkat serangan beluk, karena adanya aliran hasil asimilasi dari anakan dengan gejala beluk ke anakan yang sehat. Hal ini dipengaruhi oleh varietas padi yang ditanam, kesuburan tanah serta keadaan iklim yang tentunya akan mempengaruhi kondisi kelembaban tanah sehingga meningkatkan kenyamanan pada iklim mikro sekitar tanaman padi. Kondisi sebaliknya justru terjadi pada saat menjelang bulan April-Juni (MT. II), kelimpahan populasi larva instar 3 dan 4 paling rendah, yaitu <1000 ekor larva dengan potensi kehilangan hasil <10 kg/ha/bulan. Hal ini disebabkan pada saat bulan tersebut sedang berada pada masa penerbangan ngengat, sehingga potensi terjadinya kelimpahan imago PBK pada saat itu justru cenderung sangat tinggi.

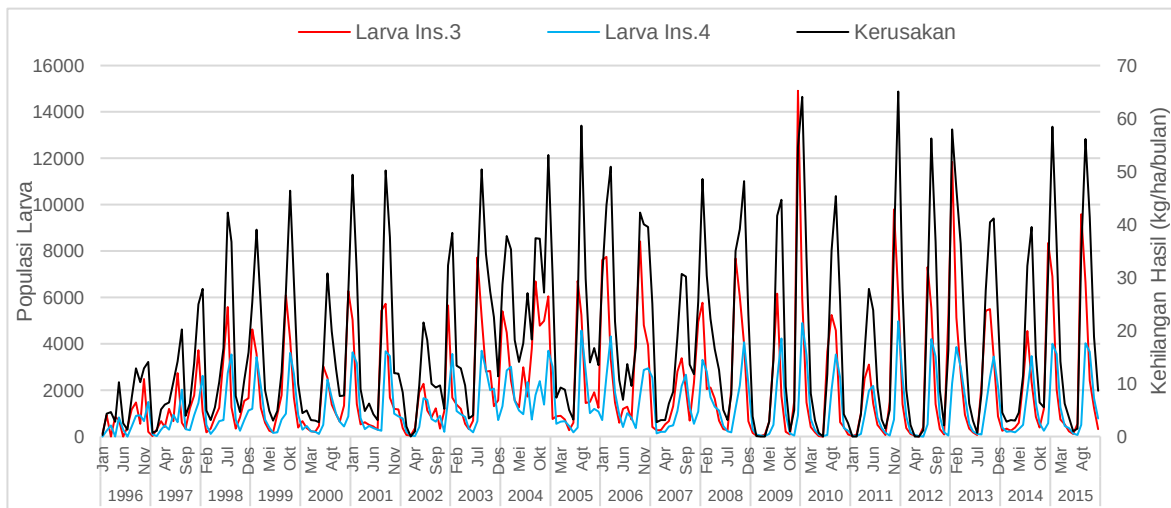
Hasil simulasi bulanan model menunjukkan bahwa jumlah populasi larva PBK instar 3 lebih tinggi dibandingkan larva instar 4. Hal ini juga berkaitan dengan perilaku makan pada larva instar 3 yang lebih aktif dan agresif sehingga tingkat kerusakannya lebih tinggi dan pada umumnya larva bersifat kanibal sehingga di dalam satu batang padi hanya ada satu ekor larva dan biasanya satu larva PBK dapat menghabiskan 5-6 anakan padi dalam satu rumpunnya (Suharto dan Usyati 2008).



**Gambar 6.** Potensi kehilangan hasil rata-rata bulanan (kg/ha/bulan) selama periode 1996-2015

Apabila kita memperhatikan pada Gambar 7, potensi kerusakan tertinggi akibat serangan larva hama PBK di wilayah Indramayu pada umumnya terjadi pada saat kelimpahannya memasuki puncak musim hujan (November-Januari) berkisar antara 43.1 – 49.3 kg/ha/bulan maupun puncak musim kemarau (Juli-September) berkisar antara 36.6 – 45.5 kg/ha/bulan sepanjang tahunnya. Populasi larva PBK terendah justru terjadi pada saat kelimpahan imago PBK pada bulan April-Juni (musim peralihan) berkisar antara 0.0 – 22.7 kg/ha/bulan. Kondisi ini akan didukung apabila ketersediaan air irigasi dan pola pergiliran tanaman yang diterapkan oleh petani di wilayah Indramayu umumnya padi-padi-padi, sehingga keberlanjutan tanaman inang bagi kelangsungan hidup hama PBK selalu ada sepanjang tahunnya.

Namun pada kondisi iklim ekstrim seperti fenomena *El Nino* dan *La Nina*, kelimpahan populasi larva PBK di wilayah Indramayu cenderung rendah sehingga menyebabkan penurunan kerusakan, baik secara langsung maupun tidak langsung penurunan kerusakan ini dipengaruhi oleh terganggunya metabolisme tanaman inang atau tidak adanya penanaman padi (kekeringan atau banjir) yang dapat berdampak terhadap meningkatnya mortalitas populasi larva PBK yang tidak bisa mentolerir perubahan suhu dan curah hujan akibat iklim ekstrim. Curah hujan dan suhu yang terlalu tinggi ataupun rendah akan berkorelasi negatif terhadap keberlangsungan populasi hama PBK yang dapat menjadi faktor penghambat bagi perkembangan populasinya. Faktor suhu dan kelembaban udara sangat penting bagi penetasan telur dan perkembangan larva, sedangkan curah hujan disamping berpengaruh terhadap fluktuasi suhu dan kelembaban udara juga berpengaruh langsung terhadap aktivitas penerbangan dan peletakan telur imago PBK.



**Gambar 7.** Potensi kehilangan hasil (kg/ha/bulan) hasil simulasi bulanan selama periode 1996-2015

## Kesimpulan dan Saran

Kemampuan prediksi model DYMEX dapat digunakan untuk merumuskan manajemen dan perencanaan pengendalian populasi PBK pada masa mendatang, terutama untuk penerapan strategi adaptasi perubahan iklim sejak dini, karena model dinilai mampu memprediksi dengan baik pengaruh iklim terhadap dinamika populasi hama PBK dan menghasilkan pola tren bulanan/musiman yang sesuai antara hasil prediksi dan observasi. Model juga dapat memprediksi jumlah populasi spesifik bulanan, jumlah generasi per musim, puncak populasi pada setiap musim serta pendugaan potensi resiko kehilangan hasil produksi padi setiap bulannya.

Diperlukan validasi data observasi kehilangan hasil padi oleh serangan hama PBK untuk menganalisis potensi resiko kehilangan hasil yang lebih akurat untuk kepentingan prediksi pada masa mendatang sehingga dapat meningkatkan strategi pengendalian yang lebih efektif. Selain itu, untuk meningkatkan kemampuan model prediksi, perlu kajian lebih lanjut dengan penambahan input model selain faktor iklim, seperti interaksi antara PBK dengan tanaman inang (padi), parasitasi musuh alami terhadap PBK, aplikasi pestisida maupun penggunaan teknik irigasi di lapangan sehingga model yang dibangun dapat lebih kompleks agar dapat mencerminkan kondisi populasi PBK yang sebenarnya. Lebih lanjut, analisis penyebaran populasi PBK dengan mengintegrasikan DYMEX dan CLIMEX akan lebih tepat dalam membantu penentuan distribusi spesies di masa mendatang dalam kaitannya dengan penggunaan skenario perubahan iklim melalui pemetaan resiko regional kelimpahan hama PBK.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kepala dan seluruh jajaran staf Lab Hama di Instansi PPOPT Indramayu atas dukungan data *light trap* imago PBK dan kepada Stasiun Klimatologi Dramaga-Bogor atas kemudahan dukungan data iklim.

## Daftar Pustaka

Banjarnahor ARK. 2013. Analisis Iklim dan Dinamika Populasi Hama Penggerek Batang Padi Kuning di Indramayu dengan Menggunakan Model Simulasi Dymex 3.0 [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

[BBPOPT] Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tumbuhan. 2010. Laporan Kerja BBPOPT 2010. <http://bbpopt.tanamanpangan.pertanian.go.id>.

[BBPTP] Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2015. Hasil Monitoring Tim Proteksi Tanaman Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Tahun 2015. <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id>.

Direktorat Perlindungan Tanaman. 2002. Pedoman rekomendasi pengendalian hama terpadu pada tanaman padi. Direktorat Perlindungan Tanaman, Direktorat Jenderal Bina Produksi Tanaman Pangan, Departemen Pertanian. Jakarta. p. 46-57.

Estay SA, Lima M, Labra FA. 2009. Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. *Journal of Applied Entomology* 133:491–499. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.14390418.2008.01380.x>.

Krishnaiah NV, Prasad ASR, Reddy CS, Pasalu IC, Mishra B, Krishna YSR, Prasad YG, Prabhakar M. 2004. Forewarning and management of rice yellow stem borer *Scirpophaga incertulas* (walker). Directorate of Rice Research Rajendranagar. *Technical Bulletin*. 7:1-39.

Koem S. 2013. Pemodelan Fenologi Populasi Penggerek Batang Padi Kuning *Scirpophaga incertulas* (Walker) Berbasis Pengaruh Iklim. Jurnal Entologi Indonesia ISSN: 1829-7722 April 2014, Vol. 11 No. 1, 1–10. doi: 10.5994/jei.11.1.1 Online version: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/entomologi>

Koesmaryono Y, Hana FT, Yusmin. 2005. Analisis hubungan tingkat serangan hama belalang kembara (*Locusta migratoria manilensis* Meyen) dengan curah hujan. *J Agromet*. 19(2):13-23.

Lauziere I, Setamou M, Legaspi J, Jones W. 2002. Effect of temperature on life cycle of *Lydella jaisco* (Diptera: Tachinidae), a parasitoid of *Eoreuma loftini* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Environmental Entomology* 31:432–437.

Litsinger JA, Alviola AL, Cruz CGD, Canapi BL, Batay-An EH, Barrion AT. 2006. Rice white stemborer *Scirpophaga incertulas* (Walker) in Southern Mindanao, Philippines. I. supplantation of yellow stemborer *S. incertulas* (Walker) and pest status. *International Journal of Pest*

*Management* 52:11–21. doi:  
<http://dx.doi.org/10.1080/09670870600552497>.

Manikandan N, Kennedy JS, Geethalakshmi V. 2013. Effect of elevated temperature on life-history parameters of rice yellow stem borer (*Scirpophaga incertulas* Walker). Article in *Current Science* March 2016. doi: 10.18520/cs/v110/i5/851-857.

Maywald GF, Kriticos DJ, Sutherst RW, Bottomley W. 2007a. *DYMEX model builder version 3*. Melbourne: CSIRO Publishing.

Maywald GF, Bottomley W, Sutherst RW. 2007b. *DYMEX model simulator version 3*. Melbourne: CSIRO Publishing.

Nahrung HF, Schutze MK, Clarke AR, Duffy MP, Dunlop EA, Lawson SA. 2008. Thermal requirements, field mortality and population phenology modelling of *Paropsis atomaria* Olivier, an emergent pest in subtropical hardwood plantations. *Forest Ecol Manag.* 255: 3515-3523. doi: 10.1016/j.foreco.2008.02.033.

Pathak MD, Khan ZR. 1994. *Insect Pest of Rice*. Manila: International Rice Research Institute.

Rahman MT, Khalequzzaman. 2004. Temperature requirements for the development and survival of rice stemborers in laboratory conditions. *Entomologia Sinica* 11:47–60.

Rubia EG, De Vries F. W and T. Penning. 1990. Simulation of rice yield reduction caused by stemborer (SB). *IRRN* 15 (1):34.

Shi P, Zhong L, Sandhu HS, Ge F, Xu X, Chen W. 2011. Population decrease of *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera Pyralidae) under climate warming. *Ecologi and Evolution* 2:58–64. doi : <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.69>.

Suharto H, Sembiring H. 2007. Status hama penggerek batang padi di Indonesia: Apresiasi hasil penelitian padi. *BPTP* 61–71.

Suharto H, Usyati N. 2008. Pengendalian hama penggerek batang padi. Di dalam: *Padi Inovasi Teknologi Produksi*. BBPTP. Jakarta. LIPI Press. P 327-349.

Yonow T, Zalucki MP, Sutherst RW, Dominiak BC, Maywald GF, Maelzer DA, Kriticos DJ. 2004. Modelling the population dynamics of the queensland fruit fly, *bactrocera (Dacus) tryoni*: a cohort-based approach incorporating the effect of weather. *J. Ecological Modelling* 173: 9-30.



## Pengaruh El Niño Dan La Niña Terhadap Curah Hujan Di Biak Selama 30 Tahun (1981-2010)

\*Prayoga Ismail <sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa program studi meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan Perhubungan I No.5, Pondok Betung, Pondok Aren, Tangerang Selatan

<sup>2)</sup> Observer Cuaca di Stasiun Meteorologi Kelas I Frans Kaisiepo, Jalan Moh. Yamin, Biak, Papua

**Abstract.** Research on the influence of El Niño and La Niña during 30 years is focused in Biak. Rainfall data (1981-2010) is based on Biak Meteorological Station observation. ENSO activity and its teleconnection to the variability of monthly rainfall has been evaluated by analyzing the response of the monthly rainfall and ENSO-related activities through the comparison of normal monthly rainfall and ENSO events composites. At the time of El Niño, Biak monthly rainfall tends to decrease until it reaches 42.55% which took place in October. While, La Niña tends to leave positive impact on Biak monthly rainfall of up to 54.27%, which occurred in September. The influence of El Niño and La Niña most to the seasonal rainfall occurs in the SON or transition period from dry to rainy season. Correlation analysis between Biak monthly rainfall and Niño 3.4 index during the period reveals that ENSO activity gives negative impact on Biak monthly rainfall with the highest correlation coefficient occurred in October, reaching -0.55. This number indicates that correlation is strong enough.

**Keywords:** El Niño, La Niña, 30 years period, Biak rainfall.

**Abstrak.** ENSO (El Niño-Southern Oscillation) merupakan anomali memanaskan atau mendinginkannya suhu permukaan laut yang terjadi di Samudera Pasifik ekuatorial. ENSO memiliki dua fase: El Niño dan La Niña. Penelitian tentang pengaruh aktivitas ENSO selama periode 1981-2010 ini difokuskan di wilayah Biak yang memiliki tipe curah hujan ekuatorial. Data curah hujan bulanan Biak selama periode 1981-2010 adalah hasil observasi Stasiun Meteorologi Frans Kaisiepo Biak. Aktivitas ENSO dan telekoneksinya terhadap variabilitas curah hujan bulanan di wilayah tersebut telah dikaji dengan analisis respon curah hujan bulanan terkait aktivitas

ENSO melalui perbandingan curah hujan bulanan normal dan komposit kejadian ENSO. Pada saat aktivitas El Niño, curah hujan bulanan Biak cenderung mengalami penurunan hingga mencapai 42,55% yaitu terjadi pada bulan Oktober. Aktivitas La Niña cenderung memberikan pengaruh positif terhadap curah hujan bulanan Biak hingga mencapai 54,27% yang terjadi pada bulan September. Pengaruh El Niño dan La Niña paling besar terhadap curah hujan musiman terjadi pada bulan SON atau musim transisi dari musim kemarau ke musim penghujan. Analisis korelasi antara curah hujan bulanan Biak dengan indeks Niño 3.4 selama periode 1981-2010 mengungkap bahwa aktivitas ENSO secara umum memberikan pengaruh negatif terhadap curah hujan bulanan Biak dengan koefisien korelasi tertinggi terjadi pada bulan Oktober yang mencapai -0,55. Angka ini mengindikasikan korelasi antara kedua variabel cukup kuat.

**Kata kunci:** El Niño, La Niña, periode 30 tahun, curah hujan Biak.

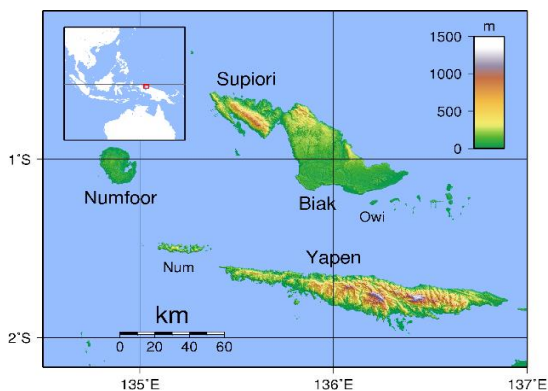
### PENDAHULUAN

Fenomena ENSO merupakan anomali meningkat atau menurunnya suhu permukaan laut (SPL) terhadap nilai normalnya yang terjadi di daerah ekuatorial Samudera Pasifik bagian tengah dan timur (Philander, 1990). Sirkulasi tropis berdampak global ini terbagi menjadi dua fase yaitu El Niño (fase hangat) yang terjadi ketika adanya anomali peningkatan SPL dan La Niña (fase dingin) yang terjadi ketika adanya anomali penurunan SPL. Ada banyak penelitian sebelumnya yang membuktikan bahwa aktivitas ENSO memberikan pengaruh terhadap variabilitas curah hujan di wilayah Indonesia secara umum (Gutman et al., 2000; Aldrian, 2002; Mulyana, 2002; Hamada et al., 2002; Hendon, 2003).

Sementara itu, pengaruh aktivitas ENSO terhadap curah hujan di wilayah Indonesia bagian timur (Papua) juga telah diteliti sebelumnya (Kubota et al., 2011; Suwandi et al., 2014). Dari berbagai penelitian tersebut, pengaruh aktivitas ENSO terhadap curah hujan di Indonesia secara umum sudah diketahui dengan baik. Namun, karena begitu luasnya wilayah Indonesia (sekitar 6.400 km<sup>2</sup>) membuat penelitian tersebut kurang representatif jika digunakan untuk mengetahui pengaruh aktivitas ENSO terhadap curah hujan untuk area yang lebih kecil ruang lingkupnya.

Paper ini merupakan ulasan mengenai pengaruh aktivitas ENSO terhadap curah hujan bulanan di Biak selama periode 30 tahun (1981-2010). Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian yang lebih khusus dan mendalam untuk mengetahui pengaruh aktivitas ENSO terhadap suatu daerah dengan skala yang lebih sempit dari sebuah negara atau provinsi dalam suatu periode tertentu. Dalam hal ini, penelitian dilakukan terhadap wilayah Biak, yang merupakan suatu wilayah setingkat kabupaten/kota. Rumusan masalah penelitian ini yaitu apakah aktivitas ENSO selama periode 30 tahun (1981-2010) mempengaruhi curah hujan bulanan di Biak? Dan bagaimanakah hubungan antara indeks Niño 3.4 dan curah hujan bulanan di Biak selama periode tersebut?

Studi ini diharapkan dapat mendukung dan melengkapi beragam penelitian sebelumnya serta memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terkait pengaruh aktivitas ENSO terhadap curah hujan bulanan di Biak selama periode 30 tahun. Penelitian ini juga untuk melengkapi studi pengaruh fenomena ENSO pada tahun 1997 dan 1999 terhadap curah hujan di Biak (Pratama, 2013).



Gambar 1. Lokasi penelitian wilayah Biak

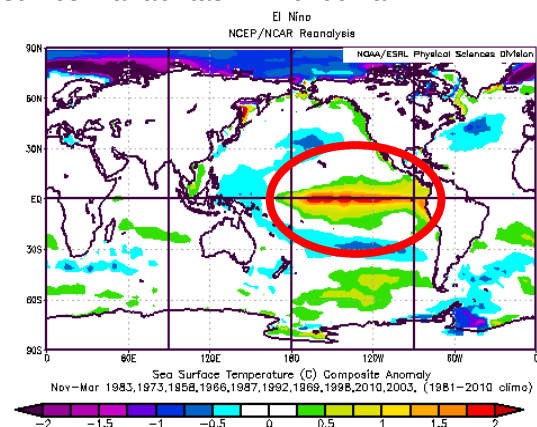
(Sumber: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biak>)

Biak merupakan salah satu kabupaten yang terletak di Provinsi Papua. Berdasarkan data curah hujan bulanan

selama periode 30 tahun (1981-2010), Biak tergolong memiliki tipe curah hujan ekuatorial, salah satu dari tiga pola hujan yang ada di Indonesia (Rouw et al., 2014). Aldrian dan Susanto (2003) memaparkan bahwa adanya respon yang berbeda antara tipe hujan dengan SPL di Indonesia, sehingga respon yang berbeda akan muncul ketika kejadian ENSO. Di sebelah timur, Biak yang lokasinya berbatasan langsung dengan Samudera Pasifik ekuatorial bagian barat tentu lebih dekat dengan wilayah terjadinya fenomena ENSO dibandingkan wilayah Indonesia lainnya. Fakta ini sekaligus menarik untuk dikaji lebih mendalam bagaimanakah pengaruh aktivitas ENSO selama periode 1981-2010 terhadap curah hujan bulanan secara khusus di wilayah tersebut. Kemudian, telekoneksinya dengan perubahan iklim yang berdampak bagi lingkungan dapat diketahui. Penelitian ini juga akan bermanfaat bagi BMKG, pemerintah dan masyarakat untuk memberikan pengetahuan terkait kejadian El Niño dan La Niña sehingga dapat dilakukan langkah penanggulangan dampaknya di kemudian hari.

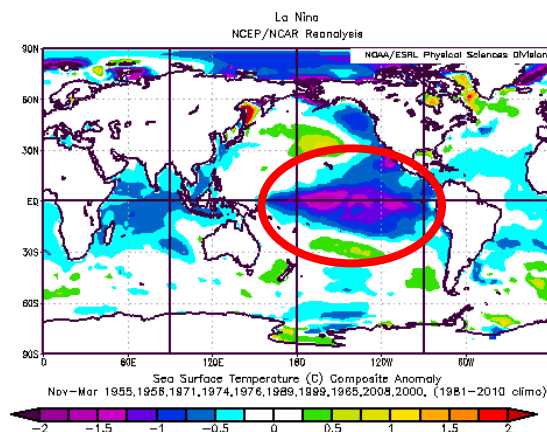
## LANDASAN TEORI

Fenomena ENSO merupakan anomali meningkat atau menurunnya suhu permukaan laut (SPL) terhadap nilai normalnya yang terjadi di daerah ekuatorial Samudera Pasifik bagian tengah dan timur (Philander, 1990). Sirkulasi tropis berdampak global ini terbagi menjadi dua fase yaitu El Niño (fase hangat) yang terjadi ketika adanya anomali peningkatan SPL dan La Niña (fase dingin) yang terjadi ketika adanya anomali penurunan SPL. Bahkan, sejauh ini fenomena ENSO telah diketahui menjadi salah satu sumber variabilitas iklim di dunia.



Gambar 2. Komposit anomali SPL saat El Niño  
(Sumber: NOAA ESRL Physical Sciences Division)

Ilustrasi pada Gambar 2 menunjukkan pola anomali SPL ketika terjadi aktivitas El Niño yaitu anomali menghangatnya SPL di Samudera Pasifik bagian tengah dan timur. Meningkatnya temperatur akan menimbulkan tekanan rendah yang berarti peluang arus konvergensi massa udara menjadi tinggi, pertumbuhan masif awan konvektif sangat potensial di area ini. Ketika aktivitas El Niño terjadi, maka di area Niño 3.4 akan menerima curah hujan yang tinggi. Akibatnya, di BMI (Benua Maritim Indonesia) termasuk Biak, menyebabkan massa awan yang tersedia menjadi berkurang karena adanya divergensi besar-besaran dan massa udara bergerak menuju Samudera Pasifik bagian tengah dan timur. Akibatnya, secara teoritis, curah hujan di BMI akan berkurang berdasarkan dinamika atmosfernya.



Gambar 3. Komposit anomali SPL saat La Niña  
(Sumber: NOAA ESRL Physical Sciences Division)

Sedangkan, ilustrasi pada Gambar 3 menunjukkan pola anomali SPL ketika terjadi aktivitas La Niña yaitu anomali mendinginnya SPL di Samudera Pasifik bagian tengah dan timur. Menurunnya temperatur akan menimbulkan tekanan tinggi yang berarti peluang arus divergensi massa udara menjadi tinggi, pertumbuhan awan-awan konvektif menjadi berkurang di area ini. Ketika aktivitas La Niña terjadi, maka di area Niño 3.4 akan defisit curah hujan dibanding normalnya. Akibatnya, di BMI (Benua Maritim Indonesia) termasuk Biak, menyebabkan peluang arus konvergensi massa udara memperkuat sirkulasi Walker, pertumbuhan massa awan yang tersedia menjadi potensial karena mendapat suplai massa udara ekstra dari Samudera Pasifik bagian tengah dan timur. Dan akibatnya secara teoritis, berdasarkan dinamika atmosfer, pada saat kejadian La

Niña curah hujan di BMI akan mengalami peningkatan jika dibandingkan normalnya.

Berdasarkan pada indeks anomali SPL Niño 3.4 selama periode 30 tahun (1981-2010), frekuensi kejadian El Niño mencapai 33,33%, sedangkan La Niña mencapai 30,00%, yang berarti bahwa keadaan normalnya mencapai 36,67%.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan selama periode 30 tahun (1981-2010) yang bersumber dari hasil observasi Stasiun Meteorologi Frans Kaisiepo Biak, salah satu stasiun pengamat cuaca kelas satu BMKG. Data ini tergolong data sekunder yang terjamin kualitasnya karena observasi curah hujan dilakukan secara langsung oleh observer menggunakan penakar hujan obs yang dikelola dan disimpan dengan baik dan representatif untuk wilayah Biak yang hanya memiliki luas sekitar 3.130 km<sup>2</sup>. Data ini sekaligus menjadi *dependent variable* pada penelitian ini. Data curah hujan bulanan selama periode tersebut akan dihitung menjadi nilai curah hujan rata-rata bulanan yang menghasilkan 12 data curah hujan normal dari bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, dan Desember. Setelah itu, akan dibuat grafik untuk mengetahui pola hujan bulanan Biak. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

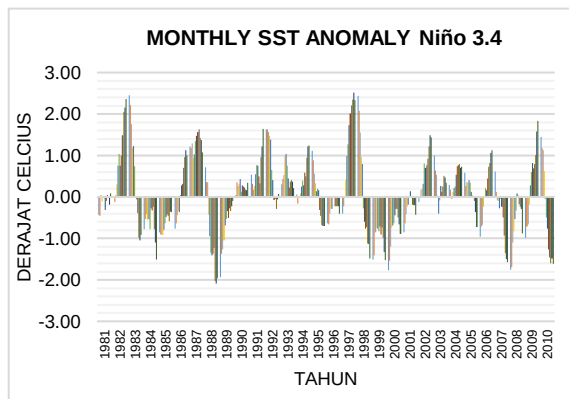
$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Dimana  $\bar{X}$  merupakan rata-rata curah hujan bulanan selama periode 1981-2010 dalam satuan mm, n adalah banyaknya data curah hujan bulanan selama periode 30 tahun, dan  $X_i$  adalah nilai curah hujan bulanan (mm).

Kemudian, data yang digunakan untuk mengidentifikasi waktu kejadian ENSO adalah data indeks anomali SPL (suhu permukaan laut) bulanan Niño 3.4 selama periode 1981-2010 seperti yang tertera pada grafik 1 yang mencakup wilayah Samudera Pasifik ekuatorial dengan area astronomis 5° LS – 5° LU dan 170° BB – 120° BB. Data ini bersumber dari NOAA ESRL Physical Science Division dengan dataset HadISST yang diunduh dari ([http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Ti\\_meseries/Data/nino34.long.anom.data](http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Ti_meseries/Data/nino34.long.anom.data)).

Dengan ketentuan, untuk peristiwa El Niño terjadi apabila angka indeks bernilai  $\geq 0,5$ . Sedangkan, untuk peristiwa La Niña terjadi apabila angka indeks bernilai  $\leq -0,5$ . Indeks

Niño 3.4 sekaligus menjadi *independent variable* pada penelitian ini.



Grafik 1. Indeks anomali SST bulanan area Niño 3.4 selama periode 1981-2010

Setelah menentukan waktu kejadian ENSO dalam fase El Niño dan La Niña, masing-masing akan dihitung menjadi komposit rata-rata curah hujan bulanan ketika aktivitas El Niño dan La Niña terjadi. Komposit curah hujan kejadian El Niño dan La Niña masing-masing akan menghasilkan 12 data curah hujan bulanan dari bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, dan Desember. Setelah itu, akan dibuat grafik untuk mengetahui pola hujan bulanan Biak pada saat kejadian El Niño dan La Niña. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Dimana  $\bar{X}$  merupakan rata-rata curah hujan bulanan filter El Niño atau La Niña selama periode 1981-2010 (mm), n adalah banyaknya data curah hujan bulanan filter El Niño atau La Niña selama periode 30 tahun dan  $X_i$  adalah nilai curah hujan bulanan filter El Niño atau La Niña (mm).

Penelitian ini dilakukan untuk kejadian ENSO selama periode 1981-2010. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis respon dan analisis korelasi menggunakan koefisien korelasi Pearson. Analisis respon curah hujan bulanan Biak terhadap kejadian ENSO akan dikaji melalui anomali curah hujan yang terjadi ketika kejadian El Niño dan La Niña. Curah hujan komposit kejadian ENSO pada fase El Niño dan La Niña selama periode 1981-2010 akan dihitung menjadi rata-rata bulanan dan dibandingkan dengan curah hujan bulanan Biak pada periode normalnya (1981-2010). Kemudian, akan dilihat bagaimanakah pengaruh aktivitas El Niño dan La Niña pada komposit curah setiap bulannya.

Metode analisis korelasi menggunakan koefisien korelasi Pearson bermaksud untuk mencari sejauh mana tingkat keeratan hubungan linier antara variabilitas curah hujan bulanan Biak dengan indeks anomali SPL Niño 3.4 selama periode 30 tahun (1981-2010). Dengan formula sebagai berikut:

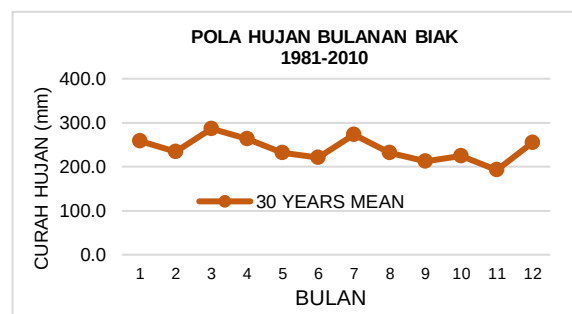
$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

Dimana r adalah koefisien korelasi Pearson, n adalah banyaknya data indeks Niño 3.4 sepanjang periode 30 tahun, X adalah nilai curah hujan bulanan Biak selama periode 1981-2010 (mm), dan Y adalah nilai indeks anomali SPL Niño 3.4 ( $^{\circ}\text{C}$ ) selama periode yang sama.

Pengolahan data curah hujan bulanan Biak, pembuatan grafik dan tabel, proses perhitungan serta analisis menggunakan aplikasi *Microsoft Excel 2013*. Sedangkan, peta komposit anomali SST diolah menggunakan *Research and Development Application* dari NOAA Earth System Research Laboratory, Physical Science Division.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. POLA HUJAN DI BIAK



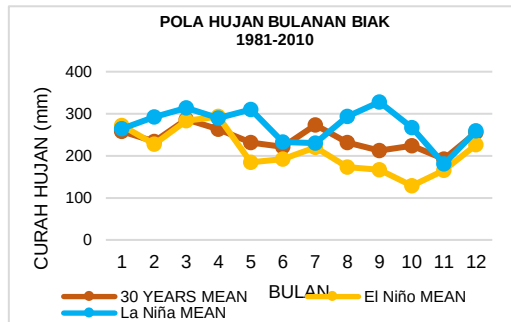
Grafik 2. Pola hujan bulanan Biak selama periode 30 tahun (1981-2010)

Curah hujan di Indonesia dibagi menjadi tiga wilayah pola hujan dominan (Aldrian dan Susanto, 2003). Berdasarkan pola hujan yang terbentuk selama periode 30 tahun di atas, Biak yang terletak di Indonesia bagian timur menjadi salah satu daerah di Papua yang memiliki pola hujan ekuatorial. Pola ini terlihat dari grafiknya yang menyerupai huruf M, dengan dua puncak yaitu terjadi pada bulan Maret dan Juli. Namun, secara umum interval curah hujan bulannya tidaklah terlalu besar ( $<100$  mm). Biak yang lokasinya berada di sebelah barat Samudera Pasifik ekuatorial, sehingga osilasi cuaca maupun iklim yang terjadi di Pasifik sangat memungkinkan untuk memberikan



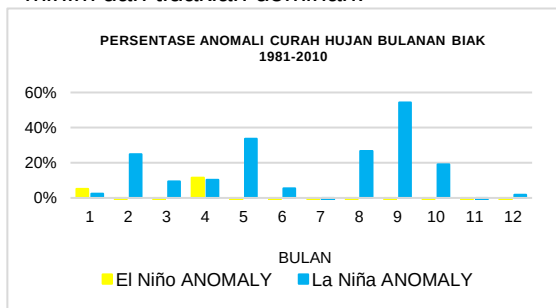
pengaruhnya terhadap variabilitas cuaca dan iklim di wilayah tersebut, salah satunya adalah variabilitas curah hujan.

#### b. ANALISIS RESPON



Grafik 3. Pola hujan bulanan Biak antara nilai normal (merah), filter El Niño (kuning), dan filter La Niña (biru) selama periode 30 tahun (1981-2010)

Berdasarkan pada grafik 3, terlihat adanya perubahan pola hujan bulanan di Biak ketika terjadi aktivitas El Niño dan La Niña. Secara umum, aktivitas El Niño cenderung menyebabkan pengurangan curah hujan bulanan di Biak. Sedangkan, aktivitas La Niña cenderung menyebabkan penambahan curah hujan bulanan di Biak. Hasil inilah yang mendominasi. Pengurangan curah hujan berarti bahwa curah hujan bulanan berada di bawah normal, sementara penambahan curah hujan berarti bahwa curah hujan bulanan berada di atas normal. Meskipun demikian, dari hasil analisis respon di atas terdapat kasus yang justru mengalami hal yang sebaliknya yaitu penambahan curah hujan bulanan ketika aktivitas El Niño, dan penurunan curah hujan bulanan ketika aktivitas La Niña. Namun, hasil ini sangat minim dan tidaklah dominan.



Grafik 4. Persentase anomali curah hujan bulanan di Biak selama periode 30 tahun filter El Niño (kuning), dan filter La Niña (biru)

#### Respon Curah Hujan Bulanan

Seperti yang tertera pada grafik 4, bulan Januari adalah bulan pertama, Februari adalah bulan kedua, dan seterusnya sampai pada Desember sebagai bulan kedua belas.

Berdasarkan analisis respon antara komposit curah hujan normal bulanan dari Januari hingga Desember 1981-2010 dan curah hujan bulanan filter pada saat aktivitas ENSO selama periode yang sama, didapatkan hasil yaitu anomali curah hujan bulanan pada aktivitas ENSO. Pada bulan **Januari**, aktivitas El Niño dan La Niña keduanya memberikan pengaruh positif berupa peningkatan curah hujan sebesar masing-masing 5,15% (13,3 mm) dan 2,43% (6,3 mm) terhadap normalnya. Pada bulan **Februari**, aktivitas El Niño menyebabkan penurunan curah hujan bulanan sebesar 2,43% (6,3 mm), sedangkan aktivitas La Niña memberikan pengaruh cukup jelas berupa peningkatan curah hujan hingga 24,74% (58 mm) terhadap normalnya. Pada bulan **Maret**, aktivitas El Niño berdampak kecil pada pengurangan curah hujan bulanan senilai 1,15% (3,3 mm), dan aktivitas La Niña berdampak pada peningkatan curah hujan bulanan sebesar 9,56% (27,4 mm) terhadap normal.

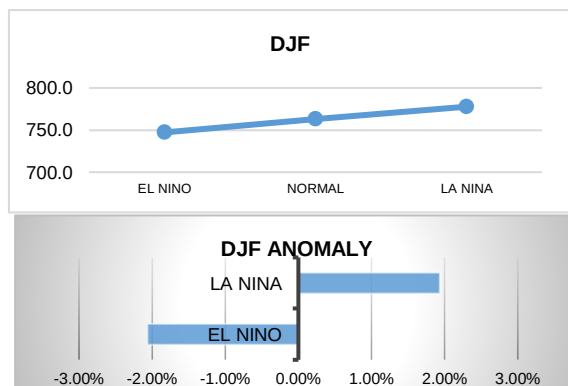
Memasuki bulan **April**, aktivitas El Niño dan La Niña kembali memberikan dampak yang hampir sama yakni penambahan curah hujan bulanan masing-masing sebesar 11,51% (30,2 mm) dan 10,27% (27 mm) terhadap normal. Pada bulan **Mei**, pengaruh aktivitas El Niño berdampak pada penurunan curah hujan bulanan sebesar 20,29% (47 mm), sementara aktivitas La Niña berdampak pada peningkatan curah hujan bulanan hingga 33,83% (78,3 mm) terhadap normalnya. Pada bulan **Juni**, aktivitas El Niño juga menurunkan curah hujan bulanan sebesar 13,02% (28,8 mm), sedangkan aktivitas La Niña meningkatkan curah hujan bulanan sebesar 5,36% (11,9 mm) terhadap normal. Kasus unik juga terjadi pada bulan **Juli**, dimana kedua fase ENSO (El Niño dan La Niña) sama-sama menyebabkan penurunan curah hujan bulanan, masing-masing sebesar 19,58% (53,6 mm) terjadi ketika aktivitas El Niño, dan 15,71% (43 mm) terjadi ketika aktivitas La Niña.

Pada bulan **Agustus**, pengaruh El Niño menyebabkan penurunan curah hujan bulanan sebesar 25,34% (58,7 mm), dan pengaruh aktivitas La Niña menyebabkan peningkatan curah hujan bulanan sebesar 26,82% (62,1 mm) terhadap normal. Pada bulan **September**, aktivitas El Niño menyebabkan penurunan curah hujan bulanan sebesar 21,45% (45,6 mm), sedangkan aktivitas La Niña memberikan pengaruh yang cukup signifikan berupa penningkatan curah hujan bulanan mencapai 54,27% (115,4 mm) dimana pengaruh La Niña pada bulan ini adalah yang paling besar

diantara bulan-bulan lainnya. Pada bulan **Oktober**, aktivitas El Niño menyebabkan penurunan curah hujan bulanan tertinggi dibandingkan bulan-bulan lainnya yakni mencapai 42,55% (95,4 mm), sedangkan aktivitas La Niña berdampak pada penambahan curah hujan bulanan sebesar 19,05% (42,7 mm).

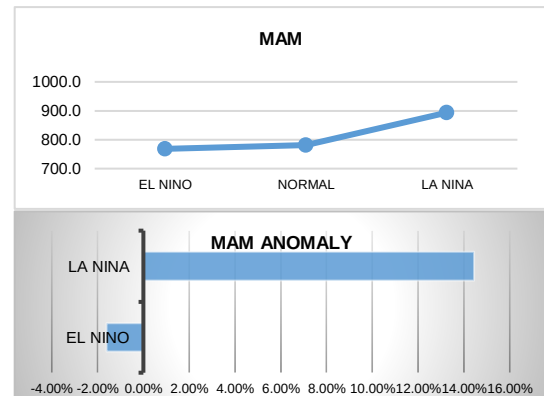
Memasuki bulan **November**, kedua fase ENSO kembali memberikan pengaruh yang sama yaitu pengurangan curah hujan bulanan, masing-masing sebesar 13,89% (26,7 mm) ketika aktivitas El Niño dan 6,27% (12,1 mm) ketika aktivitas La Niña. Pada bulan **Desember**, aktivitas El Niño memberikan pengaruh negatif berupa penurunan curah hujan bulanan sebesar 11,41% (29,1 mm), sedangkan aktivitas La Niña memberikan sedikit pengaruh positif berupa penambahan curah hujan bulanan yang hanya senilai 1,79% (4,6 mm) terhadap normalnya.

### Respon Curah Hujan Musiman



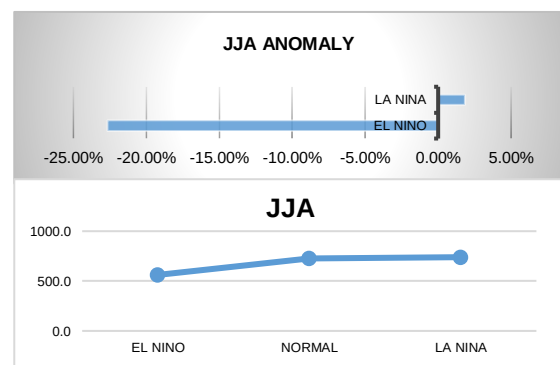
Grafik 5. Respon dan anomali curah hujan Biak pada bulan DJF ketika aktivitas El Niño dan La Niña selama periode 30 tahun

Bulan **DJF** (Desember, Januari, Februari) digunakan sebagai sampel untuk mewakili musim penghujan yang terjadi di Indonesia. Pada periode ini, curah hujan normal DJF di Biak mengalami penurunan tipis sebesar 2,07% (15,8 mm) ketika aktivitas El Niño. Sedangkan ketika aktivitas La Niña, curah hujan normal DJF mengalami peningkatan tipis juga yaitu sebesar 1,94% (14,8 mm). Dari hasil ini, terlihat bahwa pada musim penghujan, aktivitas El Niño dan La Niña memberikan pengaruh tipis dengan kekuatan anomali yang hampir sama terhadap curah hujan di Biak.



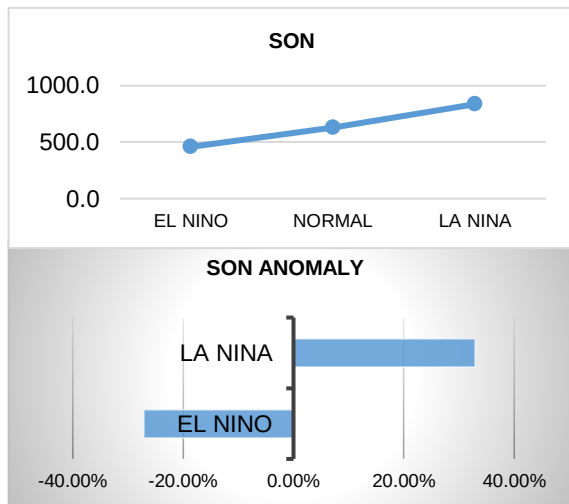
Grafik 6. Respon dan anomali curah hujan Biak pada bulan MAM ketika aktivitas El Niño dan La Niña selama periode 30 tahun

Bulan **MAM** (Maret, April, Mei) digunakan sebagai sampel musim pancaroba atau masa transisi dari musim penghujan ke musim kemarau di Indonesia. Pada periode ini, curah hujan normal MAM mengalami penurunan tipis sebesar 1,62% (12,6 mm) ketika aktivitas El Niño. Sedangkan, ketika aktivitas La Niña, curah hujan normal MAM mengalami peningkatan lebih banyak yaitu sebesar 14,44% (112,8 mm). Hal ini menunjukkan bahwa pada musim transisi MAM, pengaruh aktivitas La Niña lebih kuat dibandingkan pengaruh El Niño terhadap curah hujan di Biak.



Grafik 7. Respon dan anomali curah hujan Biak pada bulan JJA ketika aktivitas El Niño dan La Niña selama periode 30 tahun

Bulan **JJA** (Juni, Juli, Agustus) digunakan sebagai sampel untuk mewakili musim kemarau yang terjadi di Indonesia. Pada periode ini, curah hujan normal JJA di Biak mengalami penurunan cukup nyata yaitu sebesar 22,65% (164,5 mm) pada kejadian El Niño. Namun, pada aktivitas La Niña, curah hujan normal JJA hanya mengalami peningkatan tipis senilai 1,84% (13,4 mm). Dari hasil ini, dapat diketahui bahwa pada bulan JJA (musim kemarau), pengaruh El Niño terhadap curah hujan di Biak lebih kuat dibandingkan pengaruh La Niña.



Grafik 8. Respon dan anomali curah hujan Biak pada bulan SON ketika aktivitas El Niño dan La Niña selama periode 30 tahun

Bulan **SON** (September, Oktober, November) digunakan sebagai sampel musim pancaroba yaitu masa transisi dari musim kemarau ke musim penghujan di Indonesia. Pada masa ini, curah hujan normal SON di Biak mengalami penurunan paling besar dibanding musim lainnya yaitu mencapai 27,08% (170,4 mm) ketika aktivitas El Niño. Sedangkan, ketika aktivitas La Niña, curah hujan normal SON juga mengalami peningkatan paling besar dibanding musim lainnya yaitu mencapai 32,91% (207 mm). Hal ini menunjukkan bahwa pada musim transisi SON, pengaruh aktivitas El Niño dan La Niña memberikan pengaruh yang paling signifikan terhadap curah hujan di Biak dibandingkan dengan musim lainnya.

### c. ANALISIS KORELASI

Dengan menggunakan koefisien korelasi Pearson, maka dapat diketahui tingkat hubungan antara indeks Niño 3.4 dan curah hujan bulanan di Biak selama periode 1981-2010. Hasilnya seperti tertera pada tabel berikut:

| Bulan    | r     | Korelasi     |
|----------|-------|--------------|
| Januari  | 0,11  | sangat lemah |
| Februari | -0,25 | lemah        |
| Maret    | 0,01  | sangat lemah |
| April    | 0,05  | sangat lemah |
| Mei      | -0,46 | cukup kuat   |
| Juni     | -0,26 | lemah        |
| Juli     | -0,15 | sangat lemah |
| Agustus  | -0,37 | lemah        |

|           |       |              |
|-----------|-------|--------------|
| September | -0,50 | cukup kuat   |
| Oktober   | -0,55 | cukup kuat   |
| November  | -0,08 | sangat lemah |
| Desember  | -0,16 | lemah        |

Tabel 1. Korelasi antara indeks Niño 3.4 dan curah hujan bulanan Biak periode 30 tahun

Dari tabel di atas didapatkan hasil yaitu korelasi antara indeks Niño 3.4 dan curah hujan bulanan di Biak selama periode 30 tahun (1981-2010). Bahwa aktivitas ENSO berdasarkan indeks Niño 3.4 dominan memberikan pengaruh negatif terhadap curah hujan bulanan di Biak, berarti bahwa ketika aktivitas ENSO hangat (indeks positif) terjadi, maka ia dapat menurunkan curah hujan bulanan di Biak. Dan sebaliknya, jika aktivitas ENSO dingin (indeks negatif) terjadi, maka akan terjadi peningkatan curah hujan di Biak. Namun, dengan hasil yang bervariasi dari tingkat hubungan sangat lemah (Januari, Maret, April, Juli, November), lemah (Februari, Juni, Agustus, September), hingga korelasi cukup kuat (Mei, September, Oktober). Dan nilai korelasi yang tertinggi terjadi pada bulan Oktober dengan nilai  $r$  mencapai -0,55 yang bermakna bahwa indeks Niño 3.4 memberikan pengaruh negatif cukup kuat. Atau dengan kata lain ketika aktivitas ENSO terjadi, maka ia mampu mempengaruhi curah hujan bulanan Oktober di Biak dengan cukup kuat.

### d. ANCAMAN PERUBAHAN IKLIM

Kita tahu bahwa ada banyak faktor pendorong antropogenik pada iklim, terutama volume karbon dan emisi gas rumah kaca di atmosfer sebagai bagian dari kehidupan kita sehari-hari. Namun, ada sejumlah proses alami yang mempengaruhi cuaca lokal, iklim regional dan kondisi global. Beberapa efek pada iklim dunia adalah hasil dari fluktuasi dan anomali pada sebuah siklus yang kompleks. Fluktuasi ini dikenal sebagai "osilasi" dan dua dari osilasi itu adalah El Niño dan La Niña. *World Meteorological Organization* (WMO) pada peringatan Hari Meteorologi Dunia ke-66 tahun 2016 mengangkat tema "Hotter, Drier, Wetter. Face the Future". Aktivitas ENSO mengganggu pola alami dari musim, dan perubahan itu memberikan sinyal perubahan iklim di masa mendatang yang lebih panas, lebih kering, dan lebih lembab. El Niño dan La Niña merupakan bagian dari sistem iklim yang lebih luas yaitu dalam lingkup global, yang berarti bahwa secara teoritis perubahan iklim bisa mengubah sirkulasi yang berlangsung, dan berpotensi meningkatkan frekuensi

kejadian tersebut. Perubahan iklim juga bisa meningkatkan dampak aktivitas El Nino dan La Niña.

Aktivitas El Niño terjadi karena adanya anomali pemanasannya suhu permukaan laut (SPL) di Samudera Pasifik ekuatorial bagian tengah dan timur. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan iklim berupa pemanasan atau "hotter". Dampak yang dihasilkan aktivitas El Niño berupa penurunan curah hujan di berbagai belahan dunia termasuk Indonesia. Hal ini dapat mengganggu keberlangsungan siklus hidrologi terutama yang berhubungan dengan ketersediaan air tanah, kemarau berkepanjangan, kekeringan, penurunan produktivitas lahan pertanian karena gagal panen dimana berdasarkan penelitian ini didapat bahwa pengaruh El Niño yang paling besar terhadap curah hujan musiman terjadi pada bulan SON yang bertepatan dengan musim tanam komoditas pangan. Bahkan aktivitas El Niño dapat memicu kebakaran hutan karena kekeringan (Irawan, 2013). Semua ini dapat dihubungkan dengan telekoneksi perubahan iklim yang mengindikasikan perubahan menjadi lebih kering atau "drier" yang dapat memperburuk dampak El Niño. Sementara itu, aktivitas La Niña memicu perubahan iklim yang sebaliknya. Dimana fenomena ini mampu menyebabkan curah hujan mengalami peningkatan hingga di atas normal yang dapat mengakibatkan banjir serta bencana hidrometeorologis yang berkaitan. Pada kejadian La Niña, curah hujan biasanya meningkat juga memicu ledakan populasi hama dan penyakit pada tanaman akibat naiknya kelembaban udara. Semua ini dapat dihubungkan dengan telekoneksi perubahan iklim yang mengindikasikan perubahan menjadi lebih lembab atau "wetter" yang dapat memperburuk dampak La Niña.

Tiga puluh tahun adalah satu periode normal iklim. Aktivitas ENSO selama periode 1981-2010 telah membuat cuaca dan iklim berubah, sehingga lingkungan pun harus menerima dampak perubahan itu. Perubahan iklim yang tengah terjadi meningkatkan frekuensi dan intensitas El Niño dan La Niña. Sebuah ancaman perubahan iklim akan masa depan yang lebih panas, lebih kering, dan lebih lembab. Akibatnya, probabilitas dampak kejadian El Niño dan La Niña terhadap kehidupan dan lingkungan akan semakin parah.

## KESIMPULAN

Penelitian mengenai pengaruh aktivitas ENSO terhadap curah hujan bulanan di Biak selama periode 1981-2010 telah selesai dilakukan dengan menggunakan analisis respon komposit dan analisis korelasi. Selama periode ini, frekuensi kejadian El Niño mencapai 33,33%, sedangkan La Niña mencapai 30,00%, sementara itu, keadaan normalnya mencapai 36,67%. Angka ini menunjukkan bahwa periode aktivitas ENSO hampir mendekati periode normalnya. Aktivitas ENSO pada periode ini memberikan pengaruh yang cukup berarti.

Dari pola hujan bulanan Biak periode 1981-2010 teramati bahwa adanya pergeseran terkait aktivitas ENSO. Pada kejadian El Niño, pola hujan normal dominan mengalami penurunan atau cenderung di bawah normal. Dengan penurunan maksimum terjadi pada bulan Oktober yang mencapai 42,55% (95,4 mm). Sedangkan pada kejadian La Niña, pola hujan normal dominan mengalami kenaikan atau cenderung di atas normal. Dengan peningkatan maksimum terjadi pada bulan September yang mencapai 54,27% (115,4 mm).

Aktivitas ENSO juga mempengaruhi curah hujan musiman di Biak. Pengaruh terkuat aktivitas El Niño dan La Niña terjadi pada bulan SON yaitu masa pancaroba atau peralihan dari musim kemarau ke musim penghujan yang terjadi di Indonesia. Aktivitas El Niño pada bulan SON memicu penurunan curah hujan terbesar hingga 27,08% (170,4 mm), sementara aktivitas La Niña memicu peningkatan curah hujan terbesar hingga 32,91% (207 mm). Pengaruh terkecil El Niño terjadi pada bulan MAM (masa pancaroba dari musim penghujan ke musim kemarau), sedangkan pengaruh terkecil La Niña terjadi pada bulan JJA (musim kemarau di Indonesia).

Analisis korelasi mengungkap bahwa hubungan antara indeks Niño 3.4 dan curah hujan bulanan di Biak menghasilkan hubungan yang bervariasi dari sangat lemah hingga cukup kuat. Koefisien korelasi tertinggi dicapai pada bulan Oktober yang mengindikasikan hubungan negatif kedua variabel tersebut cukup kuat. Dengan demikian, Biak yang memiliki tipe curah hujan ekuatorial cukup kuat dipengaruhi oleh aktivitas El Niño dan La Niña.

Terakhir, aktivitas ENSO menjadi ancaman nyata perubahan iklim yang berdampak bagi kehidupan dan lingkungan. Aktivitas El Niño mengindikasikan telekoneksi



perubahan iklim menjadi “hotter” dan “drier”. Sedangkan, aktivitas La Niña mengindikasikan perubahan iklim menjadi “wetter”. Sebagai bagian dari sistem iklim dunia, yang berarti bahwa secara teoritis perubahan iklim bisa mengubah proses berlangsungnya ENSO. Perubahan iklim yang terjadi meningkatkan frekuensi dan intensitasnya, menjadikan probabilitas dampak kejadian ENSO semakin parah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. 2002. Spatial Patterns of ENSO Impact on Indonesian Rainfall. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 3, No. 1, Hal. 5-15.
- Aldrian, E., dan Susanto, R.D. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, Volume 23, Issue 12 Pages 1407–1545.
- Gutman, G., I. Csiszar, dan P. Romanov. 2000. Using NOAA/AVHRR products to monitor El Nino impacts: focus on Indonesia in 1997-98. *Bulletin American Meteorological Society*, 81, 1189–1205.
- Hamada, J.I., Yamanaka, M.D., Matsumoto J., Fukao S., Winarso P.A., Sribimawati T. 2002. Spatial and Temporal Variations of the Rainy Season over Indonesia and their Link to ENSO. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II Vol. 80 (2002) No. 2 Pages 285-310.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air–Sea Interaction. *Journal of Climate* Vol. 16, Pages 1775-1790.
- Irawan, B. 2013. *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*: Bab II. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Kubota, H., Syamsudin, F., Shirooka R., Hamada, J.I. 2011. Interannual Rainfall Variability over the Eastern Maritime Continent. *Journal of the Meteorological Society of Japan* (Impact Factor: 1.25). 02/2011;89A: 111-122.
- Mason, M. El Niño and La Niña: Their Impact on the Environment. (<http://environmentalscience.org/el-nino-la-nina-impact-environment/>, diakses 8 Mei 2016).
- Mulyana, E. 2002. Hubungan antara ENSO dengan Variasi Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 3, No. 1, Hal. 1-4.
- Philander, S.G.H. 1990. *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*. San Diego: Academic Press.
- Pratama, M.S. 2013. *Pengaruh Fenomena ENSO Tahun 1997 dan 1999 terhadap Curah Hujan di Biak*. Tugas akhir. Jurusan Meteorologi, Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- Rouw, A., Hadi T.W., Tjasyono B.H.K., dan Hadi S. 2014. Geographic Variation Analysis of Rainfall Pattern in Papua Region. *Jurnal Tanah dan Iklim*, Volume 38 No.1, Hal. 25-34.
- Suwandi, Zaim, Y., dan Tjasyono, B.H.K. 2014. Pengaruh Aktivitas ENSO dan Dipole Mode Terhadap Pola Hujan di Wilayah Maluku dan Papua Selama Periode Seratus Tahun (1901 – 2000). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 15 No. 1, Hal. 71-76.
- WMO (World Meteorological Organization). World Meteorological Day 2016: Hotter, Drier, Wetter. Face the Future. (<http://www.wmo.int/documents/wmo2016calendowres.pdf>, diakses 8 Mei 2016).