

POTENSI HUJAN EKSTREM NUSA TENGGARA BARAT KAITANNYA DENGAN TROPICAL CYCLONE DI SAMUDERA HINDIA
Suci Agustiarini dan Made Dwi Jendra Putra

PEMBUATAN FAKTOR KOREKSI DATA NCEP/NOAA DENGAN DATA OBSERVASI UNTUK MENGISI DATA KOSONG
Firsta Zukhrufiana Setiawati, Fanni Aditya dan Nurdeka Hidayanto

STUDI TREN KENAIKAN CO₂ HASIL PENGUKURAN PADA GAW BUKIT KOTOTABANG DAN PERBANDINGANNYA DENGAN DATA GLOBAL
Kurnia Endah Komalasari, Wandayantolis dan Tanti Tritama Okaem

PENERAPAN METODE PALMER DROUGHT SEVERITY INDEX (PDSI) DAN THORNTHWAITE-MATTER UNTUK ANALISA INDEKS KEKERINGAN DI KECAMATAN SEKOTONG - KABUPATEN LOMBOK BARAT
M. Khalis IImi, Hamdan Nurdin, Humairo Saidah dan M. Bagus Budianto

IDENTIFIKASI PENYEBARAN SUMBER KABUT ASAP KE WILAYAH SUMATERA BARAT BULAN AGUSTUS 2019
Dodi Saputra, Tanti Tritama Okaem dan Rinaldi

ENERGI POTENSIAL GEMPABUMI DI KAWASAN SEGMENT MUSI, KEPAHANG & BENGKULU
Sabar Ardiansyah dan Malik Krisbudianto

MEGASAINS

VOLUME 10

NOMOR 2

**HALAMAN
1 - 49**

**BKT
DESEMBER 2019**

**ISSN
2086 - 5589**



Vol. 10, No.2 Desember 2019

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

Wandayantolis, M.Si

MITRABESTARI

Dra. Noerhayati, M.Sc

Drs. Nasrullah

Dr. Erwin Makmur, M.Si

Supari, S.Si, M.Sc, P.hD

Sugeng Nugroho, M.Si

REDAKTUR

Darmadi

Ir. Manat Panggabean

Reza Mahdi, ST

EDITOR

Andi Sulistiyono, S.Si

Mareta Asnia, S.Tr

Dodi Saputra, S.Si

DESAINS GRAFIS DAN FOTOGRAFER

Harika Utri, S.Kom

Rinaldi

Ikhsan B Arifin, S.Tr

Tanti Tritama, S.Si

Fajri Zulgino, S.T

SEKRETARIAT REDAKSI

Diko Revano Umbara, SE

Rendi Septa Davi, S.Tr

Dwiky Pujo Pratama, S.Tr

Yasri

Ibrahim

MEGASAINS

MEGASAINS merupakan buletin yang diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit kototabang sebagai media penguangan Karya Tulis Ilmiah (KTI) yang bersumber dari kegiatan penelitian berdasarkan ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas udara, dan Geofisika (MKKuG), serta Lingkungan.

Dewan Redaksi membuka kesempatan dari paripakar 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 3 cm, kanan 3 cm, atas dan bawah 2,54 cm ; dua 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 laik cetak adalah sepenuhnya hak Dewan Redaksi.

Informasi lebih lanjut dan pengiriman naskah tulisan dapat mengunjungi portal:
<https://gawbkt.id/megasains>

-halaman ini sengaja dikosongkan-

Pengantar Redaksi

Assalamu' alaikum Wr. Wb

Puji syukur kami panjatkan ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan ijin-Nya jualan Jurnal Megasains Volume 10 No 2 tahun 2019 ini dapat terbit sebagaimana yang diharapkan.

Jurnal Megasains didedikasikan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (Global Atmosphere Watch) Bukit Kototabang sebagai sarana penerbitan karya ilmiah yang bersumber dari kegiatan penelitian berbasis ilmu-ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas udara dan Geofisika (MKKuG), serta lingkungan. Jurnal ini diterbitkan setahun dua kali guna memberikan kesempatan bagi penulis-penulis berbakat untuk berkontribusi.

Mulai Volume 10 No 1 tahun 2019 kami sudah menerapkan sistem jurnal online yang memudahkan para penulis untuk mengirim naskahnya, kemudian memantau progres *review* hingga kemudian mendapat notifikasi diterima atau harus diperbaiki. Dari sisi Redaksi dan Mitra Bestari selaku tim *review* dapat memberi notifikasi semua proses penerimaan naskah hingga kemudian terbit.

Akhir kata, semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat kepada khalayak ramai dalam bagian usaha bersama untuk mencerdaskan bangsa. Kami ucapkan terima kasih kepada para penulis. Tim Mitra Bestari dan Tim Redaksi yang telah bekerja keras demi terbitnya Volume 10 No 2 tahun 2019 ini.

Sekian, wassalamu alaikum wr.wb

Bukit Kototabang, Desember 2019

Daftar KTI

	halaman
Potensi Hujan Ekstrem Nusa Tenggara Barat Kaitannya dengan Tropical Cyclone di Samudera Hindia Suci Agustiarini, Made Dwi Jendra Putra	1 - 8
Pembuatan Faktor Koreksi Data NCEP/NOAA dengan Data Observasi untuk Mengisi Data Kosong Firsta Zukhrufiana Setiawati, Fanni Aditya dan Nurdeka Hidayanto	9 - 15
Studi Tren Kenaikan CO ₂ Hasil Pengukuran pada GAW Bukit Kototabang dan Perbandingannya dengan Data Global Kurnia Endah Komalasari, Wandayantolis dan Tanti Tritama Okaem	16- 23
Penerapan Metode <i>Palmer Drought Severity Index</i> (PDSI) dan <i>Thornthwaite-Matter</i> untuk Analisa Indeks Kekeringan di Kecamatan Sekotong - Kabupaten Lombok Barat M. Khalis Ilmi, Hamdan Nurdin, Humairo Saidah dan M. Bagus Budianto	24 - 37
Identifikasi Penyebaran Sumber Kabut Asap ke Wilayah Sumatera Barat bulan Agustus 2019 Dodi Saputra, Tanti Tritama Okaem dan Rinaldi	38 - 44
Energi Potensial Gempabumi di kawasan Segmen Musi, Kepahiang – Bengkulu Sabar Ardiansyah, Malik Krisbudianto	45 - 49

Potensi Hujan Ekstrem Nusa Tenggara Barat Kaitannya dengan Tropical Cyclone di Samudera Hindia

Suci Agustiarini¹ dan Made Dwi Jendra Putra¹

¹Stasiun Klimatologi Lombok Barat

Abstrak. Siklon tropis merupakan suatu sistem tekanan rendah kuat yang terbentuk di atas perairan laut yang hangat di wilayah lintang rendah dan biasanya ditandai hujan lebat di sekitar wilayah yang dilaluinya. Besarnya potensi hujan lebat bahkan ekstrem tentunya berbeda-beda disetiap wilayah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui wilayah mana saja di sekitar NTB yang berpotensi terjadi hujan lebat hingga ekstrem saat terjadi siklon tropis di sekitar perairan Samudera Hindia bagian barat hingga barat laut, sehingga dapat memberikan peringatan dini sebelum munculnya bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor sebagai dampak dari siklon tropis tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data curah hujan harian dan data kejadian siklon tropis dalam 10 tahun (2008-2017). Besarnya potensi hujan lebat hingga ekstrem dihitung menggunakan metode komposit seluruh kejadian siklon pada setiap tahapannya yang telah dikategorikan oleh BOM terhadap nilai curah hujan harian. Hasil dari penelitian ini menunjukkan wilayah yang berpotensi cukup besar terjadi hujan ekstrem saat siklon tropis yaitu sebagian kota Mataram dengan peluang mencapai >15%. Saat dalam tahapan depresi tropis dan badai tropis sebagian Lombok barat bagian selatan, Lombok Utara, Lombok Timur bagian utara, Sumbawa bagian tengah, dan Kota Bima juga berpotensi terjadi hujan ekstrem namun dengan peluang yang sangat kecil yaitu <10%. Siklon tropis yang dapat memicu terjadinya hujan dengan kategori lebat sangat berpeluang ketika masih dalam tahapan depresi tropis dengan wilayah terdampak yang hampir merata di seluruh NTB, namun ketika terus berkembang menjadi siklon tropis maka potensialnya akan semakin meningkat mencapai >30% dan diiringi dengan wilayah terdampak yang semakin kecil.

Kata kunci: siklon tropis, potensi, hujan lebat, hujan ekstrem

Abstract. Tropical cyclone is a powerful low-pressure system that forms over warm ocean waters in low latitudes and is usually characterized by heavy rain around the area in its through. The potential of heavy to extreme rainfall must be different in each region. This study was conducted to determine which areas around NTB are potentially occurred heavy to extreme rainfall during tropical cyclones in west to northwest Indian Ocean, so it can provide early warning before the emergence of hydrometeorological disasters happen such as floods and landslides as the impact of tropical cyclones. The data used in this research are daily rainfall data and tropical cyclone event data in 10 years (2008-2017). The potential for heavy to extreme rainfall is calculated using the composite method throughout the occurrence of cyclones at each stage which has been categorized by the BOM against the value of daily rainfall. The results of this study indicate a large potential area occurring extreme rainfall during tropical cyclones in some parts of Mataram with the probability more than 15%. While in the tropical depression and tropical storms stage some of south side of West Lombok, north side of East Lombok, central side of Sumbawa, and Bima city are also potentially occurred extreme rainfall but with small probability (<10%). Tropical cyclones can trigger the occurrence of heavy rainfall when it is still in tropical depressive stages with the affected areas almost evenly distributed throughout NTB, but when it continues growing into a tropical cyclone its potential will increase more than 30% with less affected areas. **Keywords:** tropical cyclone, potency, heavy rainfall, extreme rainfall.

Pendahuluan

Hujan merupakan suatu parameter cuaca yang sangat mempengaruhi kondisi iklim di suatu wilayah. Perubahan kondisi iklim dapat dideteksi dengan perubahan yang terjadi pada curah hujan di wilayah tersebut (Susilokarti et al, 2015). Curah hujan di setiap wilayah tentunya memiliki karakter yang berbeda. Indonesia merupakan Negara kepulauan, menyebabkan faktor seperti angin darat dan angin laut dapat mempengaruhi karakteristik curah hujan di setiap wilayah di Indonesia. Selain itu letak astronomis Indonesia berada di daerah tropis yang diapit oleh Benua Australia dan Asia serta Samudra Pasifik dan Hindia juga berpengaruh terhadap karakteristik curah hujannya. Fenomena-fenomena yang berpengaruh terhadap peningkatan dan penurunan curah hujan di Indonesia antara lain Monsun Asia-Australia, *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Dipole Mode*, *Madden Jullian Oscillation*, *Intertropical Convergence Zone* dan *Tropical Cyclone* (TC).

TC merupakan sistem tekanan rendah yang kuat yang terbentuk di atas perairan laut yang hangat di wilayah lintang rendah (Fink dan Speth, 1998). TC ditandai dengan pusaran angin kencang yang bergerak dengan radius 150 hingga 250 km, di mana pada lapisan troposfer kecepatan maksimum terjadi pada radius 20-60 km, sedangkan mencapai radius 250 km kecepatannya merupakan kecepatan minimum (Mallen et al, 2004). Selain itu juga TC biasanya ditandai hujan lebat disekitar wilayah yang dilaluinya. Daerah pertumbuhan TC mencakup seluruh wilayah lautan di dunia. Wilayah Indonesia bagian timur hingga timur laut berbatasan langsung dengan samudera pasifik barat di mana TC yang terbentuk pada perairan ini disebut *typhoon* sedangkan TC yang mungkin dilalui wilayah Indonesia bagian barat hingga barat daya adalah TC yang terbentuk di perairan Samudera Hindia selatan sebelah barat. Berdasarkan daerah pertumbuhannya, terdapat perbedaan penyebutan TC yaitu *Hurricane* dan *Typhoon*. *Hurricane* yaitu siklon tropis yang terjadi di wilayah Samudera Atlantik utara atau Pasifik timur hingga timur laut, *typhoon* yaitu siklon tropis yang terjadi di pasifik barat hingga barat laut (BMKG, 2018).

Berdasarkan kecepatan maksimum yang dicapai selama periode tertentu dalam proses pembentukannya, TC dikategorikan menjadi *Tropical Disturbance* (gangguan tropis), *Tropical Depression* (depresi tropis), *Tropical Storm* (badai tropis), dan *Tropical Cyclone* (siklon tropis). Dalam ESCI 344 – Tropical Meteorology, *tropical disturbance* yaitu ketika kecepatan angin mencapai 16 knot, kemudian menjadi *tropical depression* (TD) yaitu ketika kecepatan meningkat menjadi 20 hingga 33 knot. *Tropical storm* terbagi

menjadi dua tahap yaitu *moderate tropical storm* (badai tropis sedang) ketika kecepatan maksimum mencapai 34-47 knot dan *severe tropical storm* (badai tropis berbahaya) ketika mencapai 47 hingga 63 knot, kemudian menjadi TC ketika kecepatan mencapai ≥ 64 knot, namun ketika kecepatan bertambah hingga 90-115 knot TC disebut *intense tropical cyclone* dan ≥ 120 knot disebut *very intense tropical cyclone*.

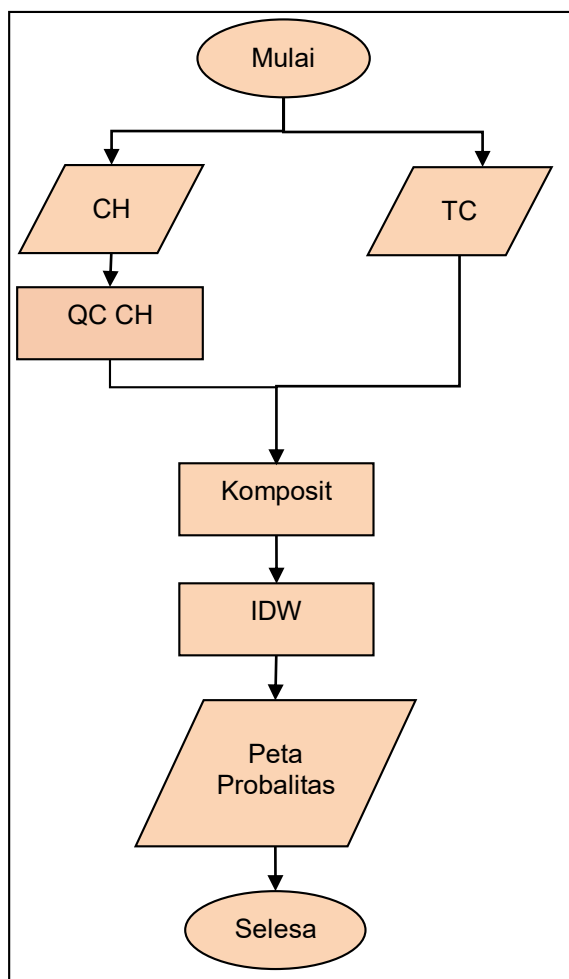
Bureau of Meteorology merupakan lembaga meteorologi Australia yang memberikan informasi peringatan TC sekitar Australia dan Samudera Hindia di selatan Indonesia tepatnya sebagai *Tropical Cyclone Warning Center Perth*, Darwin, Brisbane. BOM merupakan sumber data untuk *International Best Track for Climate* (IBTraACS) yaitu posisi wilayah yang dilalui dan intensitasnya. Pada periode 1850-2007 kejadian badai tropis yang tercatat di wilayah Samudera Hindia semakin meningkat hingga 200 kejadian dalam 10 tahun dengan kecepatan rata-rata 10 menit (MSW) pernah mencapai 126 knot (Kenneth et al, 2009)

Tjasyono (2000) menyebutkan bahwa siklon tropis dominan terbentuk pada daerah antara 10 hingga 20 dari equator (65%), sedikit sekali ($\pm 13\%$) muncul pada lintang di atas 22, dan tidak muncul pada wilayah 4 dari ekuator. *Tropical cyclone* biasanya terjadi pada saat awal musim gugur dan akhir musim panas, meskipun di Pasifik utara bagian barat siklon tropis dapat terjadi pada bulan apa saja. Dampak yang ditimbulkan oleh siklon tropis tidak hanya terjadi di lautan saja namun juga dapat berdampak di daratan. Di laut, siklon tropis dapat menyebabkan gelombang tinggi, angin kencang disertai hujan deras yang sangat membahayakan pelayaran. Di darat, siklon tropis dapat memicu bencana hidrometeorologi seperti banjir, tanah longsor, banjir rob, erosi, serta abrasi akibat hujan deras dan gelombang tinggi selain itu juga angin kencang yang menghancurkan. Secara kualitatif TC memiliki keterkaitan yang cukup signifikan dengan kejadian gelombang tinggi, banjir dan angin kencang (puting beliung) yang terjadi di Selatan Jawa Hingga Nusa Tenggara saat terjadi siklon tropis Hondo, Ivan, dan 17S tahun 2008 (Suryantoro, 2008). Secara global kecenderungan peningkatan curah hujan semakin besar, dan diproyeksikan peningkatannya mencapai 20% pada daerah yang berjarak 100 km dari pusat siklon (Knutso et al, 2010). Dyahwathi (2007) menyebutkan, saat terjadi di Samudera Hindia bagian selatan tahun 2004 wilayah sekitar Halim dan Cilacap Jawa Barat, Banyuwangi Jawa Timur, Sumbawa dan Bima NTB serta Kupang NTT terjadi peningkatan curah hujan yang mencapai 47% dari kondisi normalnya. Widiyani (2012), menambahkan pada potensi curah hujan tertinggi terjadi pada saat siklon dewasa dan menurun ketika siklon melemah, meskipun pada saat tahap

depresi kondisi curah hujan tidak teratur, sedangkan curah hujan yang tinggi di Indonesia terjadi pada tahap awal pembentukan siklon. Adapun nilai curah hujannya akan bervariasi pada setiap daerah dalam satu kejadian.

Dalam penelitian ini akan diidentifikasi dampak siklon tropis terhadap curah hujan disekitar wilayah Nusa Tenggara Barat pada saat siklon mulai tumbuh hingga meluruh. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui wilayah mana saja disekitar NTB yang mengalami peningkatan curah hujan saat terjadi siklon tropis disekitar perairan Samudera Hindia bagian barat hingga barat laut serta bagaimana pola dinamis atmosfer yang terjadi, sehingga diharapkan dapat memberikan peringatan dini sebelum munculnya bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor sebagai dampak dari siklon tropis tersebut. Dengan demikian diharapkan dapat menekan dampak buruk serta kerugian yang mungkin terjadi.

Metodologi



Gambar 1. Diagram Alir

Dalam penelitian ini data yang digunakan yaitu data curah hujan harian dan data kejadian siklon tropis 10 tahun terakhir yaitu tahun 2008-2017. Data curah hujan diperoleh dari Stasiun Klimatologi Lombok Barat dengan menggunakan data 63 pos hujan yang tersebar di Nusa Tenggara Barat. Data kejadian siklon tropis di Samudera Hindia bagian barat hingga barat laut yaitu 105 BT – 130 BT dan 6 LS – 15 LS yang diperoleh dari laporan siklon tropis Bureau of Meteorological (BOM). Jumlah kejadian pada setiap kategori siklon tropis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kejadian siklon tropis tahun 2008 - 2017

Kategori	Jumlah Kejadian (hari)
Depresi Tropis	64
Badai Tropis	24
Siklon Tropis	6

Data curah hujan terlebih dahulu dilakukan kendali mutu, untuk memastikan data tersebut baik untuk dianalisis. Metode yang diterapkan dalam kendali mutu (*quality control*) yaitu dengan menghitung nilai pencilan (outlier) pada setiap kejadian (n) secara *spatial* (Zhang et al, 1999). Besarnya nilai pencilan diperoleh dengan menggunakan perhitungan sebaran data/quartile, yaitu kuartil 1 (Q1) dan kuartil 3 (Q3) seperti rumus berikut :

$$\text{Upper Limit} = Q3 + 5(Q3-Q1) \dots\dots (1)$$

Besarnya peningkatan curah hujan dihitung menggunakan metode komposit seluruh kejadian siklon pada setiap tahapannya yang telah dikategorikan oleh BOM terhadap nilai curah hujan harian yaitu :

1. *Tropical depression* (TD) ketika kecepatannya mencapai 20-33 knot dalam intensitas TC BOM tahapan ini belum memiliki tingkatan katagori
2. *Tropical storm* (TS) ketika kecepatannya mencapai 34-63 knot, dalam intensitas TC BOM tahapan ini berada pada katagori 1 dan 2
3. *Tropical cyclone* (TC) ketika kecepatannya mencapai ≥ 64 knot, dalam intensitas TC BOM tahapan ini berada pada katagori 3-5

Teknik komposit curah hujan yang diterapkan mengikuti komposit setiap kejadian dari lima parameter siklon yang diteliti oleh Ritchie, et.al (1999) untuk melihat keaktifan berkembangnya *mesoscale convective system* (MCS) pada setiap proses pertumbuhan siklon. Oleh karena itu pada penelitian ini kejadian curah hujan pada batas 20 mm, 50 mm, dan 100 mm pada setiap tahapan kejadian siklon tropis akan dikompositkan untuk

mendapatkan besarnya peluang munculnya kejadian hujan pada masing-masing batas yang ditentukan, teknik komposit tersebut dirumuskan sebagai berikut:

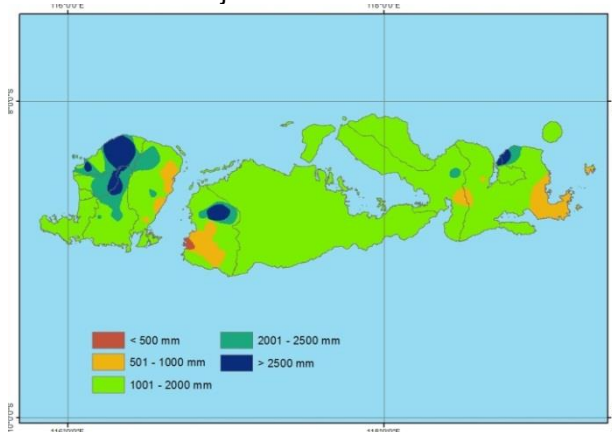
$$C_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (A_{i,j})^n \dots \quad (2)$$

Di mana $(A_{i,j})^n$ adalah nilai dari curah hujan harian disetiap pos hujan (i) pada setiap tahapan siklon tropis (j) dan N adalah jumlah data curah hujan pada setiap kejadian. Langkah-langkah pengerjaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Analisis kondisi dinamika atmosfer dilakukan dengan melihat jalur (track) siklon tropis, curah hujan, dan angin, sehingga diketahui hujan ekstrem yang terjadi akibat adanya pola *konvergensi/shear* pada 3 kejadian siklon. Kejadian siklon dipilih berdasarkan nilai curah hujan tertinggi yang dihasilkan selama periode penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Secara umum rata-rata curah hujan tahunan (2008-2017) di Nusa Tenggara Barat berkisar 1000 – 2000 mm/tahun. Curah hujan terbesar terjadi di sekitar Brang Rea, Sumbawa Barat dengan rata-rata curah hujan tahunan mencapai 3150 mm, sedangkan terkecil terjadi di sekitar Muluk, Sumbawa Barat. sebagian wilayah Lombok Utara, Lombok Timur, Lombok Tengah, dan kabupaten Bima memiliki rata-rata curah hujan tahunan berkisar 2000 mm hingga melebihi 2500 mm per tahun. Gambar 2 menunjukkan sebaran rata-rata curah hujan tahunan di NTB.



Gambar 2. Distribusi Curah Hujan Tahunan di Nusa Tenggara Barat

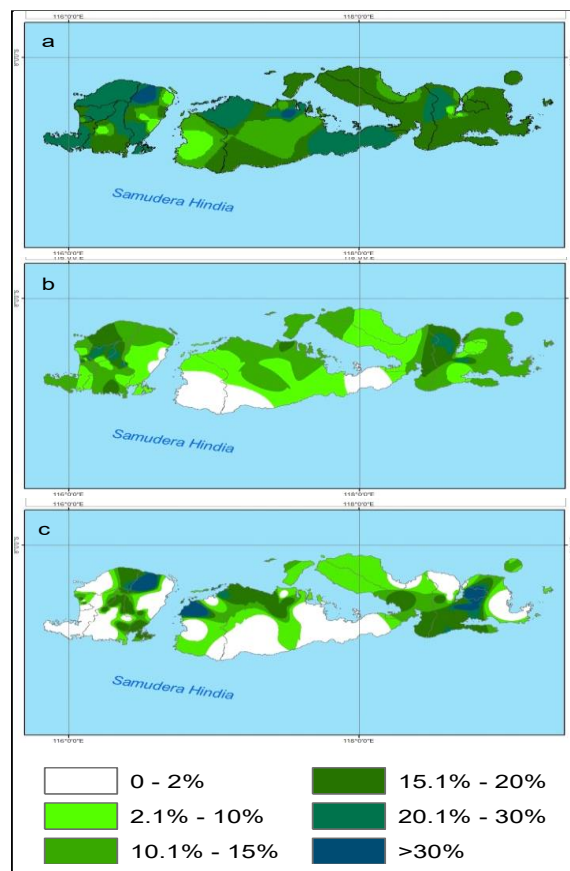
Kendali Mutu Data Hujan

Tabel 2. Kendali mutu data

Nama Pos	Tanggal	Upper Limit	Nilai CH	QC
Sambalia	19/01/2010	54	100	54
Belo	22/01/2011	44	87	44
Sigerongan	22/11/2013	6	53	6
D. Sumbawa	20/03/2014	112	120	112
Soromandi	27/04/2015	138	166	138
D. Sumbawa	25/12/2015	74	90	74

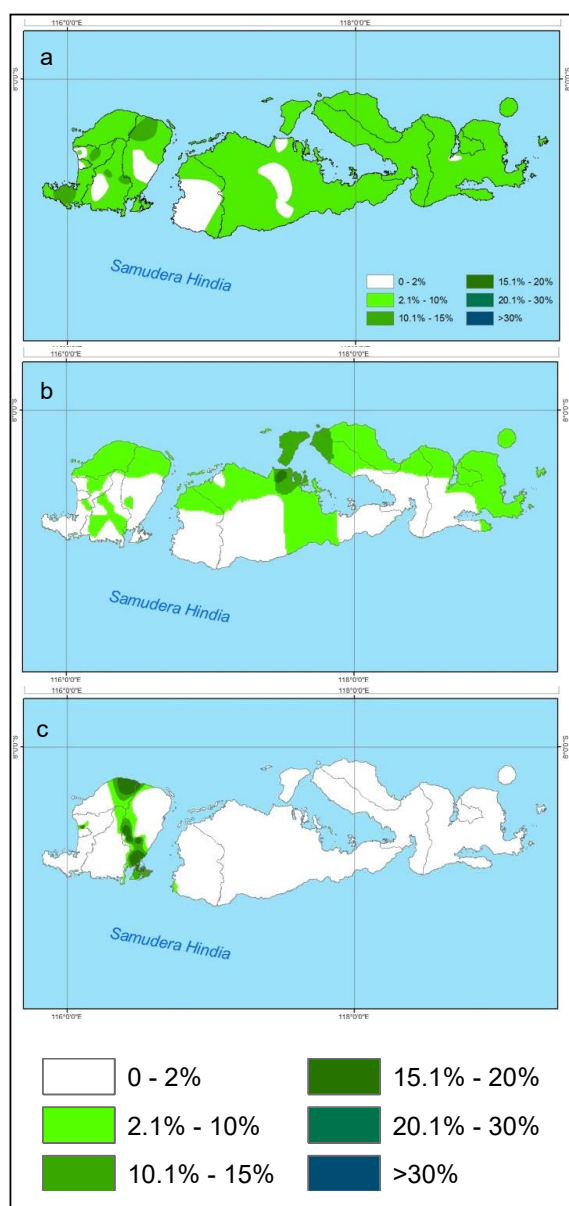
Data curah hujan harian yang digunakan dalam analisis ini menunjukkan kualitas data yang baik, hal tersebut terlihat dari sedikitnya data yang diduga salah (*suspect data*). Dalam 108 kejadian TD, TS dan TC hanya terjadi 6 kali data *suspect* yang terjadi pada 1 pos hujan selama 6 hari kejadian. Dalam hal ini QC dilakukan dengan mengganti data suspect tersebut dengan nilai batas atasnya. Adapun data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Analisis Potensi Hujan Terkait Siklon tropis



Gambar 3. Peluang curah hujan > 20 mm/hari

Secara umum TC di belahan bumi selatan terjadi pada saat matahari berada di selatan equator yaitu Oktober hingga April. Berdasarkan total kejadian siklon tropis yang diteliti pada seluruh tahapannya, 54% kejadian siklon tropis terjadi pada musim DJF (Desember Januari Februari), 36% terjadi pada MAM (Maret April Mei), dan 10% terjadi pada SON (September Oktober November). Kondisi tersebut menunjukkan variabilitas curah hujan musiman di Nusa Tenggara Barat yang diakibatkan oleh siklon tropis, terjadi disaat musim hujan hingga awal musim kemarau. Sebagian besar wilayah Nusa Tenggara Barat merupakan wilayah zona musim (ZOM) yang artinya monsun mengambil peran yang banyak dalam curah hujan di NTB sehingga ketika monsun baratan aktif wilayah NTB berpotensi terjadi hujan dengan intensitas yang berbeda-beda setiap harinya.



Gambar 4. Peluang curah hujan > 50 mm/hari

Kemunculan *tropical cyclone* dapat meningkatkan intensitas curah hujan, bahkan untuk wilayah NTB peningkatannya dapat mencapai 47% (Dyahwathi, 2007). Pada penelitian ini ditemukan adanya peluang kejadian hujan ekstrem ($CH > 100$ mm/hari) mencapai 20% di sebagian kecil Pulau Lombok. Peluang kejadian hujan sedang hingga sangat lebat atau ekstrem berbeda-beda pada setiap wilayah di NTB. Gambar 3 menunjukkan peluang kejadian hujan dengan $CH > 20$ mm/hari pada saat (a) depresi tropis, (b) badai tropis, (c) siklon tropis.

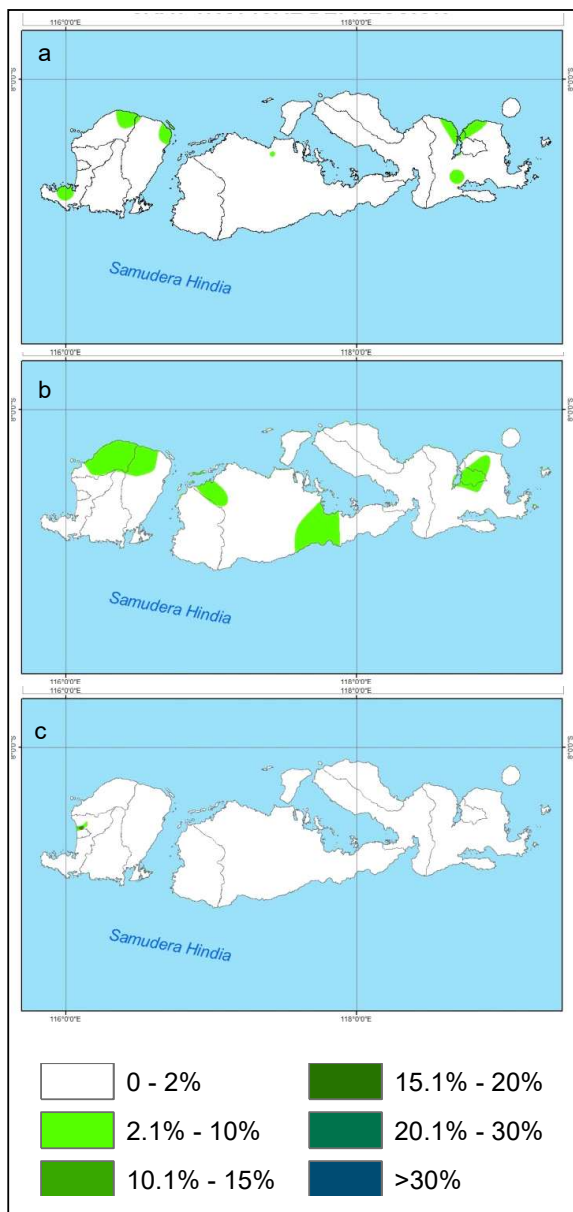
Pada saat terjadi TD di Samudera Hindia tepatnya di selatan Bali Nusa, seluruh wilayah NTB berpotensi terjadi hujan dengan intensitas > 20 mm/hari (hujan sedang). Peluang kejadian tersebut dapat mencapai $> 30\%$ untuk sebagian wilayah Lombok Timur bagian utara dan sebagian kecil Sumbawa bagian utara. Namun secara umum sebagian besar wilayah NTB memiliki peluang 20%-30% untuk terjadinya hujan > 20 mm/hari saat depresi tropis. Ketika TD berkembang menjadi TS peluang hujan > 20 mm mulai berkurang, begitu juga dengan sebaran wilayahnya, sebagian besar Sumbawa Barat bagian selatan dan sebagian kecil Lombok Timur dan Sumbawa tidak berpotensi terjadi hujan dengan intensitas sedang.

Secara umum besar peluang terjadinya hujan sedang saat TS berkisar 2% - 15%. Kemudian TS yang berkembang menjadi TC menunjukkan peningkatan peluang kejadian hujan sedang dengan peluang $> 30\%$ di wilayah yang sama saat depresi tropis serta meluas ke Sumbawa Barat bagian utara, dan sebagian Kota Bima, akan tetapi wilayah yang tidak berpotensi terjadi hujan sedang juga semakin meluas. Saat TC sebaran peluang hujan > 20 mm/hari berbeda-beda disetiap kabupaten di NTB, dengan peluang berkisar 0 hingga lebih $> 30\%$.

Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan gambar yang sama dengan Gambar 3. Gambar 4 menunjukkan sebaran peluang kejadian hujan dengan intensitas > 50 mm/hari (hujan lebat) dan Gambar 5 merupakan sebaran hujan dengan intensitas > 100 mm/hari (hujan ekstrem). Peluang hujan lebat terbesar terjadi ketika TC dengan peluang mencapai 17% di sebagian wilayah Lombok Timur, Mataram, dan Lombok Utara. Hampir seluruh wilayah NTB memiliki peluang terjadi hujan lebat ketika masih dalam tahapan TD dengan peluang 2% - 15% kemudian sebaran wilayahnya mulai berkurang ketika TS dan semakin sedikit ketika TC bahkan seluruh wilayah di Pulau Sumbawa tidak berpotensi.

Peluang terjadinya hujan ekstrem saat terjadi siklon tropis di selatan Bali Nusa hanya terlihat di sebagian kecil Lombok Utara, Lombok Timur, Lombok Barat, Sumbawa, dan Kota Bima dengan peluang hanya berkisar 2% - 10% pada tahapan TD dan TS, namun secara umum

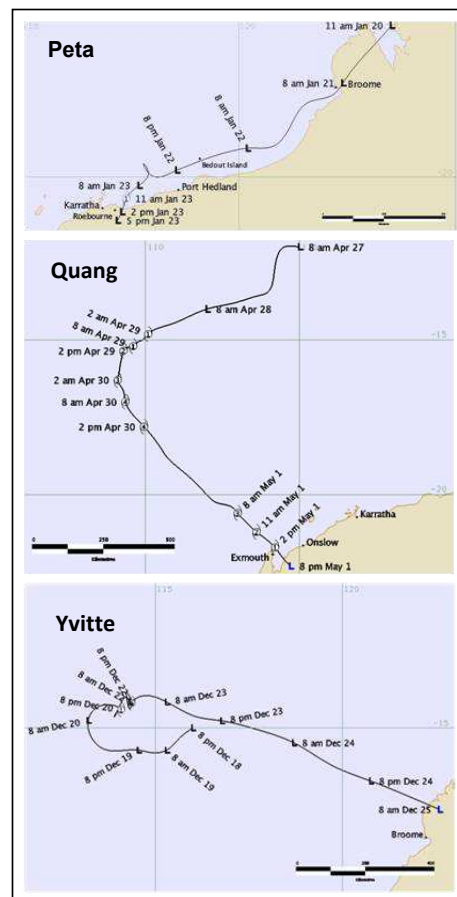
sebagian besar Wilayah NTB tidak berpeluang terjadinya hujan ekstrem. Ketika menjadi TC peluang hujan ekstrem hanya terjadi di sebagian kecil Mataram dengan peluang mencapai 17%.



Gambar 5. Peluang curah hujan > 100 mm/hari

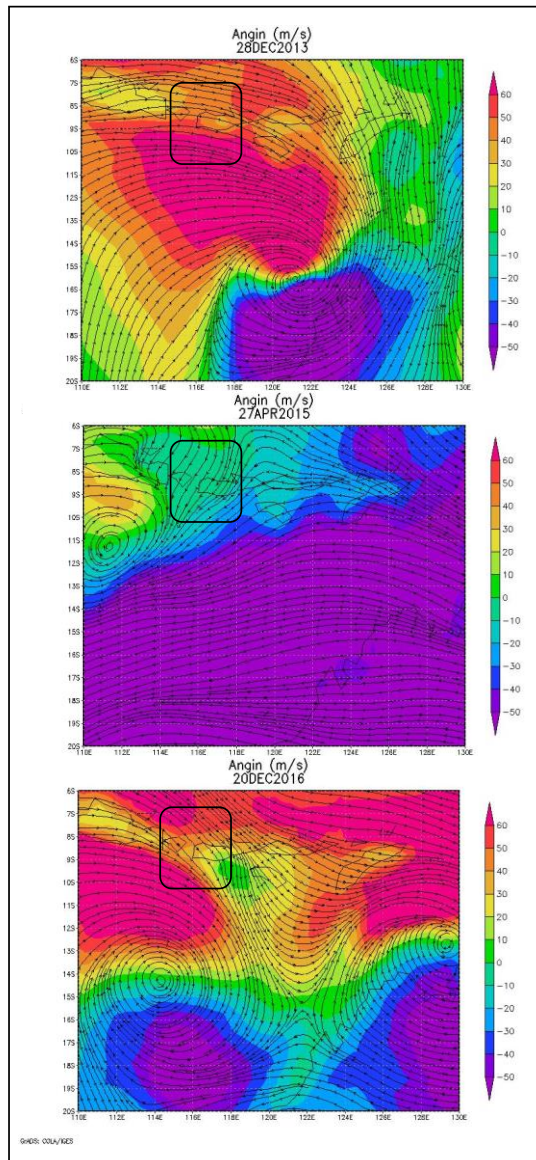
Analisis Dinamika Atmosfer

Selama periode 2008-2017, Siklon tropis Peta tahun 2013, Quang tahun 2015, dan Yvitte tahun 2016 secara berturut-turut mampu menghasilkan curah hujan yang tercatat mencapai 113 mm/hari, 166 mm/hari, dan 155mm/hari. Gambar 6. Memperlihatkan track dari ketiga siklon tersebut.



Gambar 6. Tropical cyclone track (sumber : BOM)

Berdasarkan 3 sampel kejadian siklon tropis yang terpilih, ketiganya cenderung menunjukkan pola angin yang cukup sama, yaitu adanya belokan angin di sekitar wilayah NTB dengan kecepatan yang cukup signifikan 20-40 m/s. Terdapat kondisi yang sedikit berbeda ketika TS Quang yang terjadi pada bulan april, disekitar wilayah Lombok angin permukaan menunjukkan adanya wilayah konvergensi. Hal tersebut didukung oleh kecepatan angin yang rendah yaitu 0-10 m/s. Kondisi tersebut dapat terjadi akibat perbedaan letak semu matahari, di mana ketika siklon tropis terjadi pada bulan DJF (Desember Januari Februari) angin baratan yang dominan terjadi akan semakin kuat menuju selatan (wilayah tekanan lebih rendah) sehingga area belokan anginlah yang dominan terjadi, sebaliknya pada bulan MAM (Maret April Mei) angin timuran yang dominan di sekitar Lombok akan dibelokkan oleh TS ke selatan sehingga terjadi area pertemuan (konvergensi) angin disekitar NTB. Gambar 7. Memperlihatkan kondisi dinamika atmosfer berdasarkan kondisi angin permukaan.



Gambar 7. Angin Permukaan (m/s)
(Sumber : ECMWF)

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain yaitu *tropical cyclone* yang dapat memicu terjadinya hujan dengan katagori sedang hingga lebat sangat berpeluang ketika masih dalam tahapan tropical depression dengan wilayah terdampak yang hampir merata di seluruh NTB, namun ketika terus berkembang menjadi siklon tropis maka peluang kejadian akan semakin meningkat namun diiringi dengan wilayah terdampak yang semakin kecil. Wilayah yang berpotensi cukup besar terjadi hujan ekstrem saat terjadinya *tropical cyclone* yaitu sebagian kota Mataram. Saat dalam tahapan *tropical depression* dan *tropical storm* wilayah yang berpotensi terjadi hujan ekstrem yaitu sebagian Lombok barat bagian selatan, Lombok Utara, Lombok Timur bagian

utara, Sumbawa bagian tengah, dan Kota Bima dengan peluang yang sangat kecil. Terjadinya hujan lebat hingga ekstrem di wilayah NTB saat *tropical cyclone* pada musim penghujan (DJF) cenderung terjadi akibat adanya area pembelokan (shear) angin, namun ketika memasuki kemarau (MAM) kondisi tersebut cenderung terjadi akibat adanya wilayah konvergensi di sekitar NTB.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG dan BOM selaku lembaga yang telah menyediakan data yang diperlukan dalam penelitian ini serta seluruh rekan-rekan di BMKG-Stasiun Klimatologi Lombok Barat yang telah memberikan dukungan mental kepada penulis, membantu penulis dalam memberikan ide dan menyelesaikan permasalahan selama proses pembuatan penelitian ini. Selain itu juga penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang turut memberikan dukungan kepada penulis

Daftar Pustaka

- BMKG, 2018. Learn About Tropical Cyclone. (<http://tcwc.bmkg.go.id/siklon/learn/05/id>)
- BOM, 2018. Past Tropical Cyclone. (<http://www.bom.gov.au/cyclone/tropical-cyclone-knowledge-centre/history/past-tropical-cyclones/>)
- Dyahwathi, S. Effendy, S., Adiningsih, E.S. 2007. Karakteristik Badai Tropis dan Dampaknya terhadap Anomali Hujan di Indonesia. *J. Agromet Indonesia*, Vol. 21(2), hal 61-72.
- ESCI 344. Tropical Meteorology, MillersvilleUniversity, 10 Maret 2018. (snowball.millersville.edu/~adecaria/ESCI344/esci344_main.html)
- ECMWF, 2018. ERA Interim Daily Data. (<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>)
- Fink, A.H. and Speth, P. 1998. Tropical cyclones. *Naturwissenschaften*, 85(10), pp.482-493.
- Kenneth, R.K. Kruk, M.C. Levinson, D.H. Diamond, H>J., Neumann, C.J. 2010. The Internatiaonal Best Track Archieve For Climate Stewardship (IBTsACS) : Unifying Tropical Cyclone Data, American
- Knutson, T. R., McBride, J. L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, A.K., Srivastava, Sugi, M. 2010, Tropical cyclones and climate

chang, *Nature Geoscience*, Vol. 3(3), hal 157.

- Mallen, KJ., Montgomery, MY., Wang B., 2004. Reexamining the Near-Core Radial Structure of the Tropical Cyclone Primary Circulation : Implication for Vortex Resilience, *Journal of The atmospheric Sciences*, Vol 62, hal 408-425
- Ritche, E.A., Holland, G.J. 1999. Large-Scale Patterns Associated with Tropical Cyclongenesis in the Western Pacific, *American Meteorological Society : Monhley Wether Review*, Vol. 127, hal 2027 - 2043
- Suryantoro, A. 2008. Siklon Tropis di Selatan dan Barat Daya Indonesia dari Pemantauan Satelit TRMM dan Kemungkinan Kaitannya dengan Gelombang Tinggi dan Putting Beliung. *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, Vol 3(1), hal 21-32
- Susilokarti, D. Arif, S.S. Susanto, S. and Sutiarmo, L. 2015. Identifikasi Perubahan Iklim Berdasarkan Data Curah Hujan di

Wilayah Selatan Jatiluhur Kabupaten Subang. Jawa Barat. *Agritech*, 35(1), pp.98-105.

- Tjasyono, B. 2000, Pengantar Geosains. Penerbit ITB, Bandung.
- Widiani, N. 2012. Identifikasi Kejadian Siklon Tropis di Perairan Sekitar Indonesia dari Observasi Satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Missin) dan Kaitannya dengan Curah Hujan, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Zhang, C., Wong, P. M., & Selinus, O. 1999. A comparison of outlier detection methods: exemplified with an environmental geochemical dataset. In *ICONIP'99. ANZIIS'99 & ANNES'99 & ACNN'99. 6th International Conference on Neural Information Processing. Proceedings (Cat. No. 99EX378)* (Vol. 1, pp. 183-187). IEEE.

Pembuatan Faktor Koreksi Data NCEP/NOAA dengan Data Observasi untuk Mengisi Data Kosong

Firsta Zukhrufiana Setiawati¹, Fanni Aditya¹ dan Nurdeka Hidayanto¹

¹Stasiun Klimatologi Mempawah Kalimantan Barat

Abstrak. Banyaknya data kosong memicu para ahli terus meneliti untuk menemukan metode pengisian data kosong seperti yang dilakukan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini penulis mencoba menemukan metode alternatif pengisian data kosong dengan bantuan data satelit NCEP/ NOAA. Untuk mengisi data kosong, ditentukan faktor koreksi data satelit terhadap data observasi. Data satelit yang berbentuk *gridded* dilakukan pendekatan dengan interpolasi pembobotan jarak atau *Inversed Distance Weighting* (IDW). Faktor koreksi yang dihitung dari pengurangan data observasi dan IDW satelit (NCEP/ NOAA) dikumpulkan dalam tabel distribusi frekuensi berkelas terhadap data observasi. Maka akan ditemukan modus, dan selanjutnya faktor koreksi pada wilayah tersebut merupakan median dari modus. Penelitian ini dilakukan di wilayah Kalimantan Barat dengan menggunakan 6 titik observasi yaitu Mempawah, Ketapang, Paloh, Nangapinoh, Sintang dan Putussibau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi elevasi suatu wilayah maka semakin besar nilai koreksinya (elevasi paling tinggi di Putussibau 40-50 mdpl, nilai koreksi paling besar 1.5 °C). Nilai koreksi ini dapat diaplikasikan untuk pengisian data kosong, dengan menjumlahkannya pada data satelit unsur yang sama. **Kata kunci :** IDW, Median, Modus

Abstract. *The gaps between meteorological observation data have triggered scientists to find methods that can be applied to replace the unavailable data. In this study, the authors tried to find alternative methods to fill in blank data between observation stations with NCEP / NOAA satellite data. To fill in the blank data, a satellite data correction factor was determined from the observation data. Gridded satellite data was approached by interpolating distance weighting (IDW) technique. Correction factors calculated from the reduction in observation data and satellite IDW (NCEP / NOAA) were collected in a*

*classy frequency distribution table of the observation data. This process would lead to finding the mode, and the correction factor in the region is the median of the model. This research was conducted in the West Kalimantan region using 6 BMKG meteorological observations station including Mempawah, Ketapang, Paloh, Nangapinoh, Sintang, and Putussibau. The results showed that the higher the elevation of an area, the greater correction value (the highest elevation in Putussibau 40-50 meters above sea level, the greatest correction value 1.5°C) achieved. This correction value was possible to be applied to fill in the blank data, by adding them to the satellite data of the same element. **Keywords:** IDW, Median, Modus*

Pendahuluan

Isu perubahan iklim membuat para ahli semakin giat meneliti perkembangan dinamika atmosfer untuk mendeteksi adanya perubahan iklim. Oleh karenanya, peran data observasi menjadi sangat signifikan. Walau tak jarang para peneliti menggunakan data satelit, contohnya : NCEP/ NOAA, namun pada dasarnya data tersebut hanya pembandingan jika ternyata data observasi tidak tersedia lengkap atau banyak data kosong atau hilang. Banyaknya data kosong memicu para ahli terus meneliti untuk menemukan metode pengisian data kosong seperti yang dilakukan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini penulis mencoba menemukan metode alternatif pengisian data kosong dengan bantuan data satelit NCEP/ NOAA. Untuk mengisi data kosong, ditentukan faktor koreksi data satelit terhadap data observasi.

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada beberapa teori berikut ini : Metode *Inversed Distance Weighting* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik

disekitarnya (Pramono, 2008). Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (weight) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Huisman, 2009 menyebut rumus metode interpolasi IDW adalah sebagai berikut :

$$\hat{v}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} v_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

$\hat{v}$ = value to be estimated
 v_i = known value
 $dp_i, \dots, dp_n$ = distances from the n data points to the power of p of the point estimated

Dajan (1996) menyebutkan bahwa ukuran pemusatan adalah sembarang ukuran yang menunjukkan pusat segugus data, yang telah diurutkan dari yang terkecil sampai yang terbesar atau sebaliknya dari yang terbesar sampai yang terkecil. Ukuran pemusatan yang paling banyak digunakan adalah median, mean, dan modus. Median terlalu bervariasi untuk dijadikan parameter populasi. Sedangkan modus hanya dapat diterapkan dalam data dengan ukuran yang besar. Sudjana (1996) dan Hasan (2001) mengatakan hal serupa bahwa dalam statistik deskriptif, median, modus dan mean kerap kali digunakan sebagai ukuran pemusatan data.

Supardi (2014) menyebutkan bahwa median dari sekelompok data adalah nilai tengah setelah data tersebut diurutkan. Untuk banyak datanya ganjil, nilai tengahnya terdefinisi dengan jelas. Sedangkan untuk banyak datanya genap, nilai tengahnya didefinisikan sebagai rata-rata dua nilai pertengahannya. Rumus dari ukuran pemusatan data median data berkelompok adalah :

$$\text{Median} = L_1 + C \left(\frac{\frac{N}{2} - (\sum f)i}{f_{med}} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

L_1 = batas bawah kelas median
 C = ukuran interval kelas median
 N = total frekuensi
 $(\sum f)_i$ = jumlah frekuensi pada kelas sebelum median
 f_{med} = frekuensi kelas median

Supardi (2014) juga mengatakan modus dari sekelompok data adalah nilai data yang mempunyai frekuensi terbesar, atau nilai yang paling sering muncul. Berdasarkan definisi ini, modus mungkin tidak ada yaitu dalam kasus di mana semua datanya mempunyai frekuensi yang sama. Sebaliknya modus dapat lebih dari satu dalam kasus di mana terdapat lebih dari satu data yang mempunyai frekuensi sama. Rumus dari modus dari data berkelompok adalah sebagai berikut :

$$\text{Modus} = L_1 + C \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

L_1 = batas bawah kelas modus
 C = ukuran interval kelas modus
 Δ_1 = selisih frekuensi kelas modus dan frekuensi kelas di bawahnya
 Δ_2 = selisih frekuensi kelas modus dan frekuensi kelas di atasnya

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan metode alternatif pengisian data kosong agar tercapai kualitas penelitian sehingga penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan deteksi perubahan iklim. Penelitian ini dilakukan di wilayah Kalimantan Barat dengan menggunakan 6 lokasi data observasi yaitu Ketapang, Paloh, Nangapinoh, Putussibau, Sintang dan Mempawah. Wilayah-wilayah tersebut dipilih untuk mewakili sebaran wilayah Kalimantan Barat. Dalam penelitian ini juga digunakan tabel kontingensi untuk menentukan faktor koreksi. Grant (2017) mengatakan bahwa metode tabel kontingensi merupakan salah satu metode yang baik untuk mengeksplorasi dan mempresentasikan sejumlah data. Hal serupa juga diulas oleh Altham (2005) Madsen (1976) juga merepresentasikan tabel kontingensi sebagai berikut :

		Variabel Y				Total
		1	2	...	J	
Variabel X	1	O_{11}	O_{12}	...	O_{1J}	n_{1+}
	2	O_{21}	O_{22}	...	O_{2J}	n_{2+}
	...	...	...	...	...	...
	I	O_{I1}	O_{I2}	...	O_{IJ}	n_{I+}
Total		n_{+1}	n_{+2}	...	n_{+J}	N

Gambar 1. Tabel kontingensi

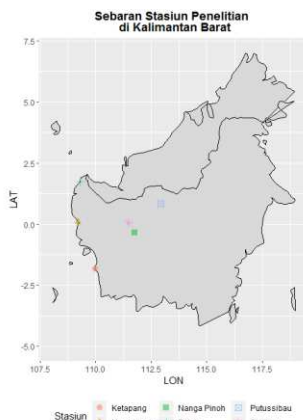
Metodologi

Lokasi penelitian adalah di Kalimantan Barat pada 2° 06' Lintang Utara – 3° 05' Lintang Selatan dan 108° – 114° 10 Bujur Timur. Dengan

mengambil sampel di enam Stasiun Meteorologi dan Klimatologi yaitu :

- Stasiun Klimatologi Mempawah Pontianak,
- Stasiun Meteorologi Rahadi Usman Ketapang,
- Stasiun Meteorologi Paloh Sambas,
- Stasiun Meteorologi Susilo Sintang,
- Stasiun Meteorologi Nanga Pinoh Melawi, dan
- Stasiun Meteorologi Pangsuma Putussibau.

Untuk lebih jelas sebaran sampel stasiun dapat dilihat pada gambar peta dibawah :



Gambar 2. Peta Stasiun BMKG di Kalimantan Barat

Data

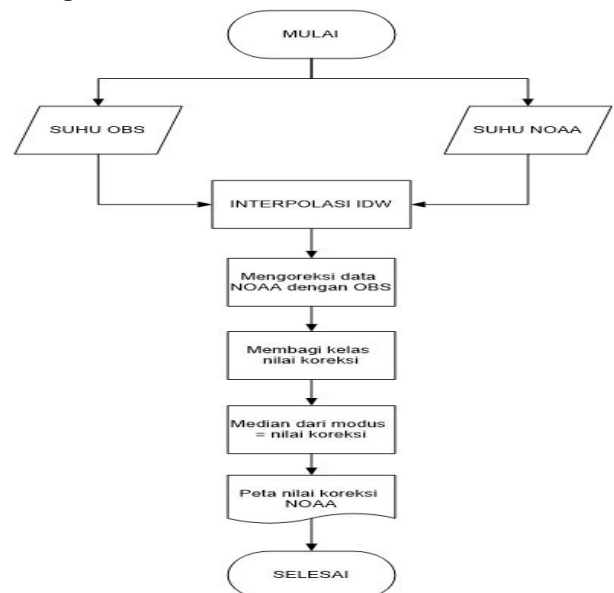
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Data suhu harian selama 10 tahun yaitu periode 2006 – 2015 yang diambil dari enam Stasiun Meteorologi dan Klimatologi di Kalimantan Barat.
- b. Data suhu NOAA periode 2006 – 2015
- c. Data peta dasar provinsi Kalimantan Barat format .shp yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Alat

Perangkat keras yang digunakan adalah komputer yang terhubung dengan internet serta printer, media penyimpanan menggunakan Microsoft Office 2010 serta Arcview/ArcGis 10.2 digunakan untuk analisa spasial.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Uji korelasi data suhu NOAA dan Observasi

Korelasi merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji ada atau tidaknya dan kuat atau tidaknya hubungan serta arah hubungan dari dua variabel atau lebih. Dalam penelitian ini, sebelum memulai pengolahan data dilakukan uji korelasi untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan dan kuat atau tidaknya hubungan serta arah hubungan dua variabel yaitu variabel data suhu observasi dan data suhu NOAA.

Data suhu observasi yang digunakan dalam uji korelasi ini adalah data suhu Stasiun Klimatologi Mempawah, Stasiun Meteorologi Ketapang, Stasiun Meteorologi Paloh, Stasiun Meteorologi Sintang, Stasiun Meteorologi Nanga Pinoh, Stasiun Meteorologi Putussibau di mana data suhu observasi tersebut adalah data suhu titik. Berbeda halnya dengan data suhu NOAA yang merupakan data suhu wilayah (grid).

Menghadapi hal tersebut, maka sebelum dilakukan uji korelasi, dilakukan interpolasi terlebih dahulu dengan metode *Interpolation Distance Weighting (IDW)* dengan menggunakan pembobotan jarak titik-titik terdekat di sekitarnya. Sehingga, dapat dihasilkan uji korelasi sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik koefisien korelasi data observasi dan NOAA sebelum koreksi

Menurut Sugiyono (2007) pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi adalah sebagai berikut :

- a. 0.00 – 0.199 = sangat rendah
- b. 0.20 – 0.399 = rendah
- c. 0.40 – 0.599 = sedang
- d. 0.60 – 0.799 = kuat
- e. 0.80 – 1.00 = sangat kuat

Berdasarkan pedoman tersebut, maka dapat diinterpretasikan bahwa data suhu observasi Mempawah memiliki kekuatan hubungan yang sedang terhadap data suhu NOAA data suhu observasi Ketapang memiliki kekuatan hubungan yang rendah terhadap data suhu NOAA data suhu observasi Paloh memiliki kekuatan hubungan yang kuat terhadap data suhu NOAA dan data suhu observasi Sintang, Nanga Pinoh dan Putussibau memiliki kekuatan hubungan yang rendah terhadap data suhu NOAA. Kemudian jika diamati dari letak ketinggian wilayah atau elevasi di mana wilayah Sintang, Nanga Pinoh dan Putussibau lebih tinggi dibanding wilayah Paloh, Mempawah dan Ketapang. Kekuatan hubungan antara data suhu observasi dan data suhu NOAA antara tempat-tempat yang berbeda ketinggian tersebut, menyiratkan bahwa secara umum, data suhu observasi di wilayah yang lebih landai memiliki kekuatan hubungan yang lebih kuat dibanding wilayah yang memiliki elevasi lebih tinggi.

Koreksi data suhu NOAA

Koreksi ini diharapkan agar eror dari data NOAA menjadi lebih kecil yang ditunjukkan dengan meningkatnya koefisien korelasi antara variabel data suhu observasi dan variabel data suhu NOAA.

Adapun dalam proses penentuan koreksi data, terdiri dari serangkaian metode sebagai berikut :

$$Koreksi_{(corr)} = T_{obs} - T_{NOAA(IDW)}$$

Berikut adalah sampel nilai koreksi dari masing-masing lokasi :

Tabel 1. Koreksi Data NOAA (Ketapang)

Thn	Bln	Tgl	obs	NOAA	Koreksi
2015	12	26	26.5	27.0	-0.5
2015	12	27	28.1	27.2	0.9
2015	12	28	28.4	25.9	2.5
2015	12	29	28.6	26.6	2.0
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
dst.	dst.	dst.	dst.	dst.	dst.

Tabel 2. Koreksi Data NOAA (Paloh)

Thn	Bln	Tgl	obs	NOAA	Koreksi
2015	12	26	27.7	26.6	1.1
2015	12	27	27.1	26.7	0.4
2015	12	28	26.0	25.9	0.1
2015	12	29	27.2	26.1	1.1
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
dst.	dst.	dst.	dst.	dst.	dst.

Tabel 3. Koreksi Data NOAA (Nangapinoh)

Thn	Bln	Tgl	obs	NOAA	Koreksi
2015	12	26	28.5	26.4	2.1
2015	12	27	28.1	26.7	1.4
2015	12	28	27.2	25.5	1.7
2015	12	29	27.8	26.2	1.6
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
dst.	dst.	dst.	dst.	dst.	dst.

Tabel 4. Koreksi Data NOAA (Putussibau)

Thn	Bln	Tgl	obs	NOAA	Koreksi
2015	12	26	27.7	26.8	0.9
2015	12	27	28.1	27.1	1.0
2015	12	28	27.9	25.7	2.2
2015	12	29	27.3	26.3	1.0
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
dst.	dst.	dst.	dst.	dst.	dst.

Tabel 5. Koreksi Data NOAA (Sintang)

Thn	Bln	Tgl	obs	NOAA	Koreksi
2015	12	26	27.5	25.9	1.6
2015	12	27	29.2	26.3	2.9
2015	12	28	27.4	25.3	2.1
2015	12	29	27.3	26.0	1.3
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
dst.	dst.	dst.	dst.	dst.	dst.

Tabel 6. Koreksi Data NOAA (Mempawah)

Thn	Bln	Tgl	obs	NOAA	Koreksi
2015	12	26	28.9	26.4	2.5
2015	12	27	28.6	26.7	1.9
2015	12	28	26.6	25.5	1.1
2015	12	29	27.4	26.2	1.2
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
dst.	dst.	dst.	dst.	dst.	dst.

Distribusi Frekuensi Kelas NOAA dan Observasi

Nilai-nilai koreksi di keempat lokasi telah diperoleh, maka dalam proses selanjutnya adalah membuat sebaran distribusi frekuensi. Distribusi frekuensi dibuat berdasarkan ketentuan statistik.

Yang perlu dibuat distribusi frekuensi adalah data suhu observasi dan nilai-nilai koreksi yang telah diperoleh.

Berikut merupakan distribusi frekuensi dari enam stasiun BMKG di Kalimantan Barat :

Tabel 7. Distribusi Frekuensi Suhu Obs Dan Koreksi (Ketapang)

O/K	-2.7-1.72	-1.71-0.73	-0.72-0.26	0.27-1.25	1.26-2.24	2.25-3.23	3.24-4.22	JUMLAH
24.29-25.17	15	35	14	0	0	0	0	64
25.18-26.06	12	79	115	27	0	0	0	233
26.07-26.95	0	41	352	373	37	0	0	803
26.96-27.84	0	7	177	811	406	23	0	1424
27.85-28.73	0	0	13	290	557	69	2	931
28.74-29.62	0	0	0	20	94	46	0	160
29.63-30.51	0	0	0	1	1	5	0	7
JUMLAH	27	162	671	1522	1095	143	2	3622

Tabel 8. Distribusi Frekuensi Suhu Obs Dan Koreksi (Paloh)

O/K	-2.9-1.95	-1.94-0.99	-0.98-0.03	0.02-0.93	0.94-1.89	1.9-2.85	2.86-3.81	JUMLAH
23.39-24.42	15	46	20	2	0	0	0	83
24.43-25.46	26	122	176	79	11	0	0	414
25.47-26.5	2	84	441	394	98	7	0	1026
26.51-27.54	0	22	246	627	244	17	0	1156
27.55-28.58	0	0	57	382	260	24	1	724
28.59-29.62	0	0	2	59	122	29	1	213
29.63-30.66	0	0	0	0	4	1	0	5
JUMLAH	43	274	942	1543	739	78	2	3621

Tabel 9. Distribusi Frekuensi Suhu Obs Dan Koreksi (Nangapinoh)

O/K	6.21-4.38	-4.37-2.54	2.53-0.7	0.71-0.249	0.25-2.98	2.99-4.82	4.83-6.66	JUMLAH
19.79-21.51	1	0	0	0	0	0	0	1
21.52-23.24	0	0	0	0	0	0	0	0
23.25-24.97	0	1	81	50	0	0	0	132
24.98-26.7	0	0	124	1189	135	0	0	1448
26.71-28.43	0	0	0	688	1143	28	0	1859
28.44-30.16	0	0	0	2	159	49	1	211
30.17-31.89	0	0	0	0	0	0	1	1
JUMLAH	1	1	205	1929	1437	77	2	3652

Tabel 10. Distribusi Frekuensi Suhu Obs Dan Koreksi (Putussibau)

O/K	-3.2--1.86	-1.85--0.51	-0.5-0.84	0.85-2.19	2.2-3.54	3.55-4.89	4.9-6.24	JUMLAH
22.89-24.04	6	9	1	0	0	0	0	16
24.05-25.2	0	84	67	2	0	0	0	153
25.21-26.36	0	53	500	158	1	0	0	712
26.37-27.52	0	4	416	1073	144	0	0	1637
27.53-28.68	0	0	23	507	423	24	0	977
28.69-29.84	0	0	0	23	101	29	0	153
29.85-31	0	0	0	0	1	2	1	4
JUMLAH	6	150	1007	1763	670	55	1	3652

Tabel 11. Distribusi Frekuensi Suhu Obs Dan Koreksi (Sintang)

O/K	-2.54--1.34	-1.33--0.13	-0.12-1.08	1.09-2.29	2.3-3.5	3.51-4.71	JUMLAH
23.59-24.72	25	14	0	0	0	0	39
24.73-25.86	11	117	74	5	0	0	207
25.87-27	1	91	387	125	1	0	605
27.01-28.14	0	3	205	398	88	0	694
28.15-29.28	0	0	4	115	122	7	248
29.29-30.42	0	0	0	4	20	9	33
							0
JUMLAH	37	225	670	647	231	16	1826

Tabel 12. Distribusi Frekuensi Suhu Obs Dan Koreksi (Mempawah)

O/K	-3.31--2.31	-2.3--1.3	-0.129--0.29	-0.28-0.72	0.73-1.73	1.74-2.74	2.75-3.75	JUMLAH
23.59-24.54	5	12	5	1	0	0	0	23
24.55-25.5	7	47	96	33	2	0	0	185
25.51-26.46	0	30	257	421	82	0	0	790
26.47-27.42	0	1	137	874	479	29	0	1520
27.43-28.38	0	0	12	324	514	77	1	928
28.39-29.34	0	0	0	27	128	46	2	203
29.35-30.3	0	0	0	0	2	1	0	3
JUMLAH	12	90	507	1680	1207	153	3	3652

Modus distribusi frekuensi kelas NOAA dan Observasi

Pada tabel distribusi frekuensi suhu observasi dan nilai-nilai koreksi di atas akan ditentukan frekuensi terbanyak atau modus untuk mendapatkan nilai koreksi untuk masing-masing wilayah. Pada tabel warna kuning merupakan tanda frekuensi terbanyak atau modus.

Berikut frekuensi terbanyak dari masing-masing wilayah :

- Ketapang = 0.27 – 1.25 °C
- Paloh = -0.02 – 0.93 °C
- Nanga Pinoh = -0.71 – 0.25 °C
- Putussibau = 0.85 – 2.19 °C
- Mempawah = -0.28 – 0.72 °C
- Sintang = -0.12 – 1.08 °C

Nilai koreksi pada frekuensi terbanyak merupakan nilai koreksi yang paling banyak muncul. Dari frekuensi terbanyak tersebut pada proses selanjutnya akan ditentukan nilai median

atau nilai tengah yang merupakan nilai koreksi akhir untuk masing-masing lokasi.

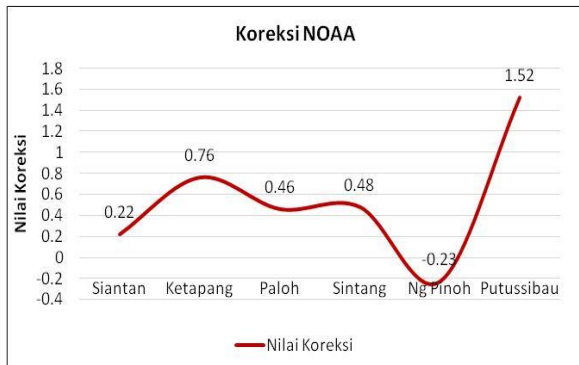
Nilai tengah (median) dari modus distribusi frekuensi kelas NOAA dan Observasi

Nilai tengah atau median akan ditentukan dari frekuensi terbanyak dari modus yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Nilai tengah tersebut nantinya merupakan nilai koreksi untuk masing-masing wilayah.

Dalam penelitian ini menggunakan modus dan median dengan maksud bahwa nilai koreksi yang akan digunakan merupakan nilai koreksi yang paling banyak muncul, sehingga dapat digunakan untuk mengoreksi data suhu NOAA agar paling tidak dapat mendekati nilai suhu observasi.

Nilai tengah (koreksi) yang telah diperoleh adalah 0.22 °C (Mempawah); 0.76 °C (Ketapang); 0.46 °C (Paloh); 0.48 °C (Sintang); -0.23 °C

(Nanga Pinoh) dan 1.52°C (Putussibau). Nilai-nilai koreksi tersebut dapat divisualkan dengan grafik berikut ini :



Gambar 4. Nilai koreksi data NOAA

Elevasi lokasi Mempawah, Ketapang dan Paloh adalah 0 – 10 mdpl, elevasi lokasi Sintang dan Nanga Pinoh adalah 30 - 40 mdpl sedangkan Putussibau memiliki elevasi 40 – 50 mdpl. Tampak nilai koreksi Putussibau memiliki nilai yang paling signifikan dibandingkan yang lain.

Kesimpulan

Hasil dari analisa dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Nilai koreksi pada keenam wilayah adalah sebagai berikut :
 - Ketapang = 0.76°C
 - Paloh = 0.46°C
 - Nangapinoh = -0.23°C
 - Putusibau = 1.52°C
 - Sintang = 0.48°C
 - Mempawah = 0.22°C
- Sebaran spasial nilai koreksi dapat dilihat pada peta nilai koreksi spasial pada pembahasan, koreksi paling besar adalah 1.52°C dan paling kecil -0.22°C
- Dengan adanya penelitian ini, disarankan dapat mengisi data kosong parameter suhu harian dengan menambahkan nilai koreksi dengan data IDW NCEP NOAA = koreksi + IDW NCEP NOAA

Daftar Pustaka

- Altham, Patricia. 2005. Contingency Table. Encyclopedia of Biostatistics. John Wiley & Sons, Ltd
- Dajan, Anto. 1996. Pengantar Metode Statistik jilid II. Jakarta : PT. Pustaka LP3ES

Grant, Millicent Alexa. 2017. Methods for exploring and presenting contingency tables: A case study visualizing the 1949 Great Britain occupational mobility table. *Graduate Theses and Dissertations*. 16137

Hasan, M, Iqbal. 2001. Pokok-pokok Materi Stastistik I (Statistik Deskriptif). Jakarta : Bumi Aksara

Huisman, Otto dan Rolf A. de By. 2009. Principle of Geographic Informastion Systems. Netherlands : The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)

Mette Madsen. 1976. Statistical Analysis of Multiple Contingency Tables. Two Examples. *Scandinavian Journal of Statistics*, 3(3), 97-106

Pramono, Gatot, H. 2008. Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros Sulawesi Selatan. *Forum Geografi Basokurtanal*. Vol. 22, No. 1

Sudjana. 1996. Metode Statistika. Bandung : Penerbit Tarsito Bandung

Supardi. 2014. Aplikasi Statistika Dalam Penelitian : Konsep Statistika Yang Lebih Komprehensif. Jakarta : Change Publication

NCEP/ NOAA. <http://esrl.noaa.gov/psd>, diakses 6 Juli 2016, Pukul 11.30 WIB.

Studi Tren Kenaikan CO₂ Hasil Pengukuran pada GAW Bukit Kototabang dan Perbandingannya dengan Data Global

Kurnia Endah Komalasari¹, Wan Dayantolis², Tanti Tritama Okaem²

¹ Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta

² Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Email: komalasari.ke@gmail.com

Abstrak. Aktivitas manusia pasca revolusi industri telah menggeser fungsi komposisi alamiah Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Konsentrasi GRK yang berlebihan menyebabkan peningkatan temperatur udara di permukaan bumi. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik Karbon Dioksida (CO₂) yang diamati oleh SPAG Bukit Kototabang. Pengukuran CO₂ ini menggunakan Air Kit Flask Sampler yang dikirim ke NOAA. Data dianalisis dengan menggunakan metode Statistik Deskriptif dengan 2 periode data CO₂ tahun 2005-2018. Periode pertama (2005-2011) laju kenaikan data sebesar 0.1306 ppm/bulan dan periode kedua (2012-2018) sebesar 0.1988 ppm/bulan serta kenaikan nilai minimum sebesar 3.64% pada periode kedua. Pengukuran CO₂ di SPAG Bukit Kototabang masih berada di bawah rata-rata pengukuran Global dan Mauna Loa meskipun memiliki tren kenaikan yang sama.

Kata Kunci : Gas Rumah Kaca, Karbon Dioksida, Airkit Flask Sampler, Statistik deskriptif

Abstract. Human activity after the industrial revolution has shifted the function of the natural composition of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere. Excessive GHG concentrations cause an increase in air temperature on the earth's surface. This study aims to examine the characteristics of Carbon Dioxide (CO₂) observed by the Bukit Kototabang SPAG. This CO₂ measurement used the Air Kit Flask

Sampler sent to NOAA. Data were analyzed using Descriptive Statistics method with 2 periods of CO₂ data for 2005-2018. The first period (2005-2011) showed the rate of increase in data amounted to 0.1306 ppm per month and the second period (2012-2018) amounted to 0.1988 ppm per month and the increase in the minimum value of 3.64%. CO₂ measurements in the Bukit Kototabang SPAG were still below the global and Mauna Loa measurements despite having the same upward trend.

Keywords : Greenhouse Gases, Carbon Dioxide, Airkit Flask Sampler, Descriptive Statistics

Pendahuluan

WMO (2019) menyebutkan bahwa suhu udara pada tahun 2015, 2016, 2017 dan 2018 mencatatkan rekor 4 tahun terpanas dalam sejarah pencatatan iklim yang ada sejak jaman pra-industri. Rekor suhu terpanas tersebut dikaitkan dengan terus meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca akan menyebabkan semakin banyaknya energi gelombang panjang yang terjebak di atmosfer bumi (National Research Council, 2012). IPCC (2018) menekankan perlunya menjaga agar kenaikan suhu global pada level kurang dari 1.5

°C agar masyarakat dunia dapat terus hidup berkelanjutan.

Gas rumah kaca sendiri terdiri dari empat gas utama yaitu Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄), Nitrogen Oksida (N₂O) dan kelompok gas yang mengandung Fluor (Sivaramanan, 2015). Dari keempat gas utama tersebut CO₂ dianggap memainkan peran penting dalam pemanasan global (UNFCCC, 2009). Karenanya, Florides (2009) menyebutkan pada studi-studi tentang pemanasan global, data tren CO₂ dan suhu global akan selalu disandingkan guna menunjukkan korelasi yang terbentuk dari keduanya. CO₂ merupakan Gas Rumah Kaca yang secara alami bersumber dari debu letusan gunung berapi dan hasil pernafasan manusia dan hewan. Kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar jenis fosil di sektor energi serta kegiatan industri, transportasi, deforestasi dan pertanian menjadi penyumbang sumber emisi CO₂ nonalami. CO₂ adalah Gas Rumah Kaca terbanyak kedua di atmosfer setelah uap air (Climate4life, 2019a).

Di Indonesia pengamatan CO₂ secara konsisten diamati oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang di Sumatera Barat. Kurniawan (2017) menyebutkan SPAG Bukit Kototabang merupakan bagian jaringan Stasiun Global dalam program *Global Atmospher Watch* (GAW) yang dikoordinasikan oleh WMO. Selain CO₂, gas rumah kaca lainnya serta gas polutan lain seperti partikulat dan kimia air hujan diamati di SPAG Bukit Kototabang. Secara administratif SPAG Bukit Kototabang masuk dalam wilayah Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Namun dari segi akses SPAG Bukit Kototabang lebih dekat ke Kota Bukittinggi yang berjarak sekitar 17 km. Dari seluruh stasiun global GAW di dunia, yang berada tepat di sekitar ekuator hanya Stasiun SPAG Kototabang di Indonesia dan Stasiun GAW di Kenya. Namun keduanya memiliki perbedaan signifikan dari sisi keadaan lingkungannya (Climate4life, 2019b).

Sebagaimana laporan WMO (2019) dan IPCC (2018) bahwa peningkatan suhu global terus terjadi dan sering dengan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, maka kajian ini dimaksudkan untuk mengkaji karakteristik CO₂ yang diamati oleh SPAG Bukit Kototabang dan

dibandingkan dengan pengukuran CO₂ di Mauna Loa dan data CO₂ global.

Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data CO₂ tahun (2005-2018) hasil pengukuran pada SPAG Bukit Kototabang. Data bulanan digunakan karena ketersediaan series panjang hanya tersedia dalam format bulanan. Data CO₂ bulanan merupakan hasil rata-rata pengamatan flask sampling selama empat sampai lima kali pengamatan dalam satu bulanan. Pengambilan sampel Gas Rumah Kaca dilakukan dengan menggunakan *Airkit Flask Sampler*. Kegiatan ini dilakukan setiap satu minggu sekali yaitu hari Selasa pukul 14.00 WIB. Empat jenis gas utama yang diukur antara lain CO₂, CH₄, N₂O dan SF₆.

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan menghisap udara ambien melalui inlet *Airkit Flask Sampler* yang diletakkan pada menara dengan ketinggian 32 m. Penempatan inlet pada ketinggian tersebut dimaksudkan untuk menghindari kontaminasi udara sampel dari berbagai pengotor dan pengaruh makhluk hidup yang ada dibawahnya. Selanjutnya, sampel udara kering dengan tekanan di bawah 3 psig akan dianalisis lebih lanjut di *Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory* (CMDL) NOAA. Gas CO₂ akan dianalisis dengan metode *Non Dispersive InfraRed* (NDIR) (Nahas dan Herizal, 2008).

Data dari hasil analisis tersebut bisa didapatkan dengan mengunduh di halaman berikut <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html> dan bisa juga menggunakan *Secured File Transfer Protocol* (SFTP) (NOAA, 2019a).

Penelitian ini dilakukan dengan membagi data CO₂ periode tahun 2005-2018 dalam dua kelompok data dengan masing-masing periode berisi data selama tujuh tahun yaitu periode tahun 2005-2011 (P1) dan 2012-2018 (P2). Pada kedua kelompok data dilakukan analisis deskriptif untuk melihat sebaran data pada setiap periode dan melihat kecenderungan pola pada kedua periode data. Analisis statistik deskriptif adalah cabang statistik yang bertujuan untuk

menggambarkan sejumlah fitur data yang biasanya terlibat dalam penelitian. Tujuan utama dari statistik deskriptif adalah untuk memberikan ringkasan singkat dari sampel dan tindakan yang dilakukan pada studi tertentu ditambah dengan sejumlah analisis grafik. Dalam banyak hal, eksplorasi kreatif data dan informasi yang terkait dengan analisis statistik deskriptif adalah inti dari penggalian data (*data mining*) (Sciencedirect, 2019 dan Aresearchguide, 2019)

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian normalitas data yang dilakukan dengan menggunakan QQ-plot dan uji *lilliefors*. QQ-plot merupakan grafik yang membandingkan nilai kuantil sampel dan nilai kuantil distribusi normal teori. Jika kedua set data kuantil tersebut berasal dari distribusi yang sama maka keduanya akan membentuk garis lurus (Data library virginia edu. 2019). Selain secara visual uji normalitas juga dapat dilakukan dengan pengujian *lilliefors* yang merupakan pengembangan dari uji *Kormogorov Smirnov* (Baghban, 2013 dan Razali, 2011). Dengan hipotesa bahwa data berasal dari distribusi normal. Saat p-value bernilai diatas 0.05 maka hipotesa diterima atau dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

Setelah diketahui distribusi dari setiap periode kemudian dilakukan pengujian homogenitas variasi dan rata-rata dari kedua periode data tersebut. Ada beberapa metode pengujian homogenitas variasi yang dapat digunakan antara lain Uji F, Uji Bartlett, Uji Fligner-Killeen. Untuk data berdistribusi normal maka pengujian homogenitas dapat menggunakan uji F dan uji Bartlett sementara untuk data yang tidak mengikuti distribusi normal dapat menggunakan uji Levene (Mu, 2006).

Selain melakukan pengujian terhadap homogenitas varians juga dilakukan pengujian rata-rata kedua populasi, hal ini untuk menguji apakah rata-rata dari kedua periode data terdapat perbedaan yang signifikan. Atau lebih jauh lagi apakah secara rata-rata CO₂ pada P2 signifikan lebih besar dibandingkan dengan rata-rata CO₂ pada P1. Kemudian pada tahap akhir dilakukan analisis tren hal ini dilakukan untuk menjelaskan seberapa besar kenaikan yang terjadi pada kedua periode dan uji trend dengan

menggunakan Mann Kendall (cran.r-project.org, 2019).

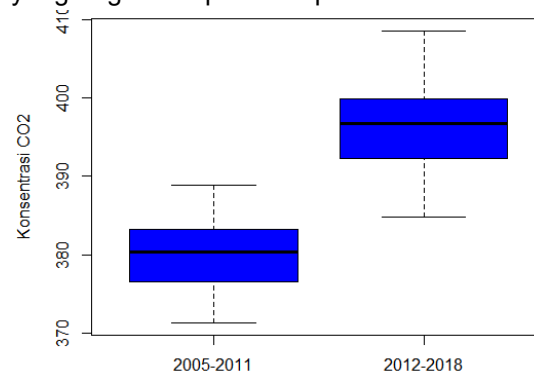
Tools yang digunakan pada metode analisis di atas menggunakan aplikasi Minitab 19 (Minitab.com, 2019) dan program bahasa R versi 3.5.2(www.r-project.org, 2019).

Kajian yang dilakukan ini selain memberikan informasi tentang tren data hasil pengukuran CO₂ sekaligus juga menjadi upaya menguji validitas data pengamatan CO₂ yang dilakukan oleh SPAG Bukit Kototabang dan juga memberikan informasi tingkat CO₂ di Indonesia terhadap data global.

Hasil dan Pembahasan

Analisis deskriptif dua periode CO₂

Pada analisis deskriptif ini dihitung nilai minimum, maksimum, mean, median, kuantil 1 dan kuantil 3 dan standar deviasi di tiap periode yang tergambar pada boxplot berikut:



Gambar 1. Boxplot konsentrasi CO₂ pada P1 dan P2

Dari gambar 1 terlihat ada perbedaan nilai sebaran data, dari nilai data minimum, median, kuantil 1, kuantil 3, hingga nilai maksimum data pada P2 lebih tinggi dibandingkan dengan P1. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Statistik deskriptif konsentrasi CO₂ pada periode 2005-2011 (P1) dan periode tahun 2012-2018 (P2)

Statistik Deskriptif	Konsentrasi CO ₂		% kenaikan
	2005-2011 (P1)	2012-2018 (P2)	
Minimum	371.3	384.8	3.64%
Kuantil 1	376.6	392.3	4.17%
Median	380.3	396.7	4.31%
Mean	379.9	395.9	4.21%
Kuantil 3	383.2	399.9	4.36%
Maksimum	388.8	408.6	5.09%
Std.Deviasi	3.98	5.71	43.47%

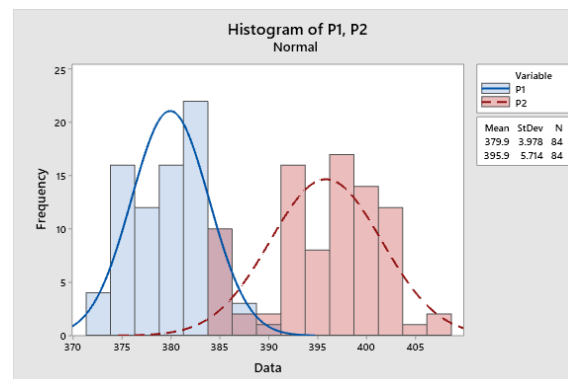
Dari tabel 1 terlihat adanya kenaikan sebesar 3.64% pada nilai minimum konsentrasi CO₂ pada P2 terhadap P1. Kenaikan berkisar 4.17%-4.36% pada kuantil 1 hingga kuantil 3 dan kenaikan terbesar ada pada nilai maksimum yaitu sebesar 5.09%, sementara nilai standar deviasi yang menunjukkan ukuran variasi data terhadap rata-ratanya naik sebesar 43.47%. Hal ini menunjukkan pada P2 secara deskriptif mengalami kenaikan nilai konsentrasi rata-rata, sebarannya maupun variasinya.

Pengujian Normalitas

Setelah dilakukan analisis deskripsi dari kedua periode data dengan hasil yang menunjukkan adanya indikasi peningkatan nilai rata-rata dan varians pada P2. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian normalitas data pada P1 dan P2.

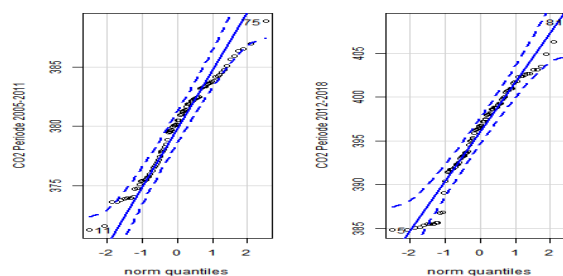
Gambar 2 menunjukkan perbandingan pola distribusi frekuensi dari kedua periode data. Dari gambar tersebut terlihat pola sebaran data P2 memiliki sebaran data yang lebih luas atau variasi yang lebih besar dengan nilai pusat

sebaran yang lebih tinggi dari pada P1. Akan tetapi secara visual bentuk grafik frekuensi dari kedua periode data masih mengikuti bentuk distribusi normal yaitu frekuensi terbesar berada di nilai median dan mengecil di kedua ujungnya.



Gambar 2. Perbandingan normalitas dan sebaran data periode 1 dan periode 2

Untuk memastikan normalitas kedua periode data maka dilakukan pengujian normalitas dengan menggunakan QQ plot dan pengujian liliefors dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 3. QQ plot data CO₂ P1 dan periode P2

QQ-plot pada gambar 3 menunjukkan kuantil pada data CO₂ di kedua periode mengikuti pola nilai kuantil pada distribusi normal, begitu juga dari pengujian *lilliefors* diperoleh nilai p-value sebesar 0.1679 untuk P1 dan 0.1367 untuk P2. Keduanya berada diatas 0.05 artinya kedua periode data berdistribusi normal.

Pengujian Homogenitas Varians

Pengujian homogenitas varians dilakukan untuk mengetahui apakah variasi dari dua periode data sama. Dari hasil pengujian normalitas kedua data berdistribusi normal oleh karena itu pengujian homogenitas varians akan dilakukan menggunakan uji Fisher (uji F) untuk

membandingkan variasi pada data konsentrasi CO2 pada P1 dan variasi data konsentrasi CO2 pada P2.

Hasil pengujian fisher dengan menggunakan `var.test` dalam program R menunjukkan nilai p-value yang lebih kecil dari 0.05 yaitu sebesar 0.0011. Hal ini menunjukkan bahwa varians dari P1 dan P2 tidak homogen.

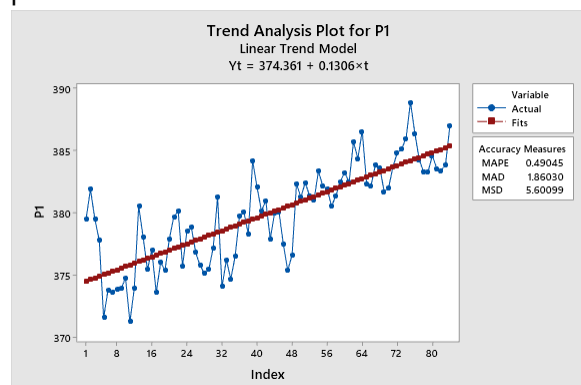
Pengujian Rata-rata

Pengujian rata-rata akan dilakukan dengan menggunakan uji t dengan hipotesa bahwa rata-rata konsentrasi CO2 pada periode tahun setelah tahun 2011 lebih besar dari rata-rata konsentrasi CO2 sebelum tahun 2011.

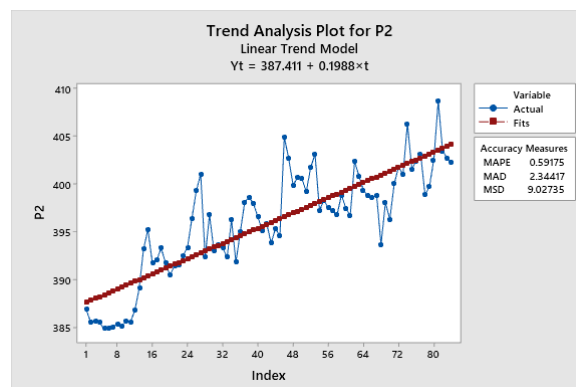
Dari hasil uji t test terhadap dua periode data tersebut diperoleh hasil p value di bawah 0.05. Artinya hipotesa bahwa konsentrasi CO2 pada periode tahun setelah tahun 2011 lebih besar dari rata-rata konsentrasi CO2 sebelum tahun 2011 diterima.

Grafik tren dua periode CO2, dan perbandingannya

Berdasarkan pengolahan dengan Minitab, grafik tren CO2 pada masing-masing periode sebagaimana terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Tren CO2 hasil pengukuran SPAG baik periode 1 maupun 2 menunjukan kecenderungan sama yang terus meningkat. Kivikunnas (2019) menyebutkan tren data seperti ini bukan alat analisis utama namun dapat dijadikan dasar untuk analisis pelengkap yang memberikan informasi perilaku data. Terdapat perbedaan laju kenaikan data pada kedua periode.



Gambar 7. Grafik Tren CO2 periode 2005-2011 (P1)



Gambar 8. Grafik Tren CO2 periode 2012-2018 (P2)

Pada periode pertama laju kenaikan data sebesar 0.1306 ppm perbulan dan periode kedua sebesar 0.1988 ppm perbulan. Peningkatan pada periode 2012-2018 lebih besar dari tahun 2005-2011.

Kedua trend ini kemudian diuji dengan menggunakan uji trend Mann Kendal untuk mengetahui apakah trend yang ada pada kedua periode data signifikan. Dalam penelitian ini pengujian trend dilakukan dengan menggunakan dengan software R dengan fungsi "*MannKendall*" dalam package "*Kendall*".

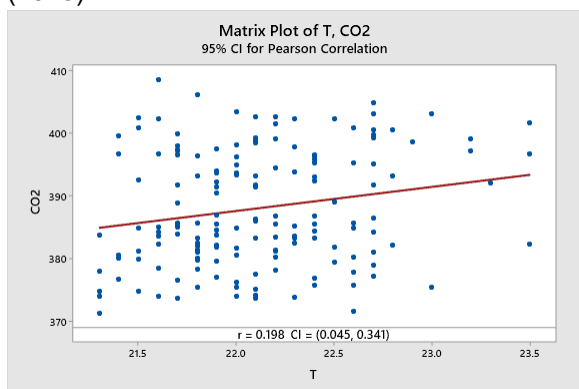
Dari hasil pengujian MannKendal diperoleh p value dengan nilai mendekati 0 untuk kedua periode (dibawah 0.05). Hal ini membuktikan bahwa trend pada data konsentrasi CO2 P1 dan P2 signifikan secara statistik artinya semakin hari laju kenaikan CO2 selalu bertambah lebih cepat dibanding waktu-waktu sebelumnya. Maka tanpa skenario pencegahan pemanasan global seperti yang ditekankan oleh IPCC (2018), laju kenaikan CO2 global yang eksponensial seperti yang terjadi saat ini akan menyebabkan kenaikan suhu udara yang lebih tinggi lagi.

Korelasi CO2 dengan suhu

Mengacu pada Florides (2009) yang menyebutkan terdapat kaitan kenaikan suhu global dengan CO2, pada hasil pengukuran suhu udara di SPAG menunjukan hubungan yang sama terhadap CO2. Hal ini sebagaimana terlihat pada Gambar 10 yang merupakan *scattering plot* guna menggambarkan tren data suhu pada sumbu X terhadap data CO2 pada sumbu Y.

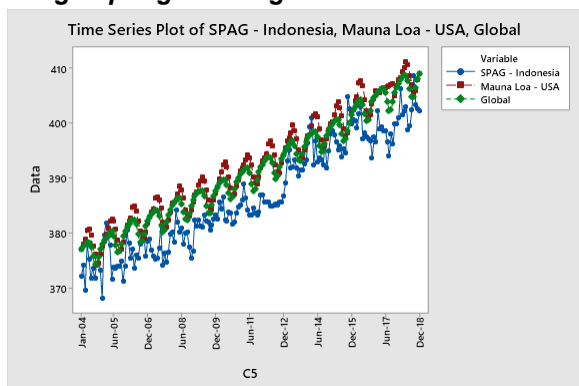
Garis merah memberikan informasi bahwa suhu udara cenderung meningkat seiring kenaikan CO₂.

Dengan demikian hal ini juga mengindikasikan bahwa tren yang terjadi di Indonesia baik laju kenaikan CO₂ dan suhu udara mengikuti tren perubahan global seperti yang disebutkan oleh WMO (2019) dan IPCC (2018).



Gambar 10. Hubungan suhu udara (T) dengan CO₂ di SPAG Kototabang

Perbandingan tren CO₂ SPAG Kototabang dengan pengukuran global

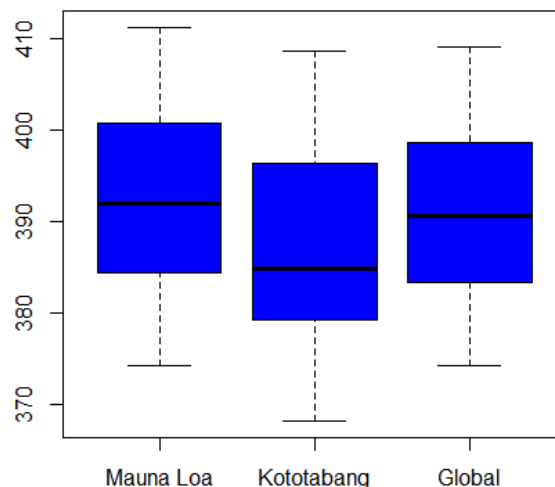


Gambar 11. Grafik CO₂ pada SPAG, Mauna Loa dan data Global

Hasil pengukuran CO₂ pada SPAG sejalan dengan hasil pengukuran CO₂ NOAA rata-tata global dan pada stasiun Mauna Loa Hawaii (NOAA, 2019b), yang juga menunjukkan tren yang sama dan bahkan telah melewati ambang batas 400 ppm pada periode yang sama. Mauna Loa merupakan stasiun rujukan dari NOAA sehingga berdasarkan informasi ini artinya tren kenaikan CO₂ merupakan fenomena global.

WMO (2016) menyebutkan kenaikan CO₂ yang melampaui batas 400 ppm berkaitan dengan peningkatan GRK di dunia yang mencapai 37 % dalam periode 1990-2015

Analisis deskriptif data CO₂ pada SPAG, Mauna Loa dan global sebagai berikut.



Gambar 12. Perbandingan Konsentrasi CO₂ Mauna Loa-USA, Kototabang-Indonesia dan Global

Adapun ukuran nilai pada Gambar 12 di atas sebagaimana tersaji pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Statistik deskriptif konsentrasi CO₂ pada Mauna Loa, SPAG Kototabang dan rata-rata Global

Statistik Deskriptif	Konsentrasi CO ₂		
	Mauna-Loa	Kototabang	Global
Minimum	376.7	371.3	376.5
Kuantil 1	385.9	380.3	384.7
Median	392.9	385.5	391.6
Mean	393.5	387.8	392.3
Kuantil 3	401.3	396.6	399.8

Maksimum	411.2	408.6	409.1
Std.Deviasi	9.2	9.325	8.993

Gambar 12 telah menunjukkan bahwa berdasarkan nilai rata-rata dan juga median data CO₂ pada SPAG lebih rendah dari CO₂ yang terukur pada Mauna Loa dan juga rata-rata global. Perbedaan ukuran tersebut secara jelas tersaji pada Tabel 2 di atas.

Kesimpulan

Berdasarkan uraian sebagaimana yang tersaji di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Berdasarkan uji normalitas menunjukan bahwa data CO₂ pada SPAG Kototabang pada periode tahun 2005-2011 dan periode tahun 2012-2018 masih memiliki pola yang sama dengan sebaran data yang masih berada di sekitar nilai rata-rata dan mediannya.
- Berdasarkan pengujian statistika terdapat perbedaan nyata CO₂ pada periode 7 tahun sebelumnya dengan 7 tahun terakhir dengan laju kenaikan dan variasi yang semakin tinggi pada periode kedua.
- Peningkatan yang paling besar adalah pada nilai maksimum pada 7 tahun terakhir yaitu naik sebesar 5,09% bila dibandingkan dengan nilai maksimum 7 tahun sebelumnya
- CO₂ Indonesia sebagaimana yang diwakili oleh ada pada SPAG masih berada di bawah rata-rata pengukuran global namun memiliki tren kenaikan yang serupa.

Saran

Perubahan CO₂ telah terjadi baik dari besarannya, variasi, dan tren yang semakin meningkat oleh karena itu dibutuhkan suatu langkah nyata dan tindakan antisipasi untuk mencegah terjadinya peningkatan CO₂ yang semakin besar.

Daftar Pustaka

- Agusta Kurniawan. 2017. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ dan PM₁₀) Di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. Jurnal Teknosains vol 7, No.1, Desember 2017; 1-13
- Aresearchguide.2019.<https://www.aresearchguide.com/a-descriptive-statistics.html>, diakses tanggal: 04 Oktober 2019
- Baghban, A.A., Younespour, S., Jambarsang, S., Yousefi, M., Zayeri, F., Jalilian, F.A. How to test normality distribution for a variable: a real example and a simulation study. 2013. Journal of Paramedical Sciences (JPS). Winter 2013 Vol.4, No.1 ISSN 2008-4978
- Climatelife.info, 2019a. Mengenal Gas Rumah Kaca.<http://www.climate4life.info/2019/04/mengenal-gas-rumah-kaca-pemicu-pemanasan-global.html>, diakses pada tanggal : 11 September 2019
- Climatelife.info, 2019b. Program Global Atmosphere Watch WMO. <http://www.climate4life.info/2019/03/program-global-atmosphere-watch-wmo.html>, diakses tanggal : 05 September 2019
- Cran.r-project.2019.<https://cran.r-project.org/web/packages/Kendall/Kendall.pdf>
- Data library virginia edu. 2019. <https://data.library.virginia.edu/understanding-q-q-plots/>, diakses tanggal: 18 Oktober 2019
- Georgios A. Florides dan Paul Christodoulides. 2009. Global warming and carbon dioxide through sciences. Environment International 35 (2009) 390–401
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C approved by governments. Diakses pada website:https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf, tanggal 11 September 2019
- Kivikunnas, Sauli Kivikunnas. Overview of Process Trend Analysis Methods and Applications.<https://pdfs.semanticscholar.org/60aa/d007f7d28b2a4ebd4a5cbcece4>

- 25adc8ae6f.pdf, diakses tanggal: 17 September 2019
- Minitab19. 2019. <https://www.minitab.com/en-us/products/minitab/free-trial/>, diunduh tanggal : 17 September 2019
- Mu, Zhiqiang. 2006. Comparing the Statistical Tests for Homogeneity of Variances. Electric Theses and Dissertations of East Tennessee State University. Paper 2212. (<http://dc.etsu.edu/etd/2212>)
- Nahas, A.C dan Herizal. 2008. Analisis Konsentrasi Gas Rumah Kaca Bukit Kototabang Periode Januari-Maret 2018. Buletin Pengamatan Atmosfer Global Bukit Kototabang vol 2, April 2008 ; 1-11
- National Research Council. 2012. Climate Change Evidence, Impacts, and Choices. Diakses pada website: http://nas-sites.org/americasclimatechoices/files/2012/06/19014_cvtx_R1.pdf, tanggal 11 September 2019
- NOAA. 2019a. ESRL/GMD FTP Data Finder. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>, diakses tanggal: 11 September 2019
- NOAA Monthly Average Mauna Loa CO₂. 2019b. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>, diakses tanggal: 15 September 2019
- R versi 3.5.2. 2019. <https://www.r-project.org/>, diunduh tanggal: 17 Januari 2019
- Razali, N.M. 2011. Power Comparisons of Shapiro Wilk, Kormogorov-Smirnov, Liliefors and Anderson Darling test. Journal of Statistical Modeling and Analytics. Vol.2 No.I, 21-33, 2011
- Sciencedirect.2019.<https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/descriptive-statistics>, diakses tanggal : 04 Oktober 2019
- Sivakumaran Sivaramanan. 2015. Global Warming and Climate change causes, impacts and mitigation. Diakses pada website:https://www.researchgate.net/publication/280548391_Global_Warming_and_Climate_change_causes_impacts_and_mitigation
- UNFCCC. 2009. Fact sheet: The need for mitigation. Diakses pada website: https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_mitigation.pdf
- What is a Scatter Plot and When to Use It. 2019. <https://chartio.com/learn/charts/what-is-a-scatter-plot/>, diakses tanggal: 25 September 2019
- WMO. 2016. Greenhouse Gas Bulletin. No. 12 - https://ane4bf-datap1.s3-eu-west1.amazonaws.com/wmocms/s3fspublic/GHG_Bulletin_12_EN_web_JN161640.pdf?aZaKZhdpDfJdmHvtbSvLwbj6zb_PWwdz, diakses pada: 24 Oktober 2016
- WMO. 2019. WMO confirms past 4 years were warmest on record, diakses pada website: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-past-4-years-were-warmest-record>, tanggal 11 September 2019

Penerapan Metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan *Thornthwaite-Matter* untuk Analisa Indeks Kekeringan di Kecamatan Sekotong Kabupaten Lombok Barat

Muhammad Khalis Ilmi¹, Hamdan Nurdin², Humairo Saidah¹, dan M. Bagus Budianto¹

¹Teknik Sipil Universitas Mataram

²Stasiun Klimatologi Kupang

Abstrak. Pentingnya informasi tentang karakteristik kekeringan pada suatu daerah sangat dibutuhkan untuk mengantisipasi bencana kekeringan. Salah satu cara untuk mengetahui karakteristik kekeringan adalah melalui analisis indeks kekeringan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan indeks kekeringan di Kecamatan Sekotong dengan metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan *Thornthwaite-Matter*, setelah itu akan dievaluasi ketelitian model antara indeks kekeringan dari 2 metode tersebut terhadap tahun-tahun El Nino berdasarkan nilai SOI selama tahun 2006 – 2015, kemudian menentukan keakurasian antara kedua metode tersebut terhadap kekeringan yang terjadi untuk menentukan metode yang cocok diterapkan di Kecamatan Sekotong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode PDSI terjadi kekeringan dengan kategori ekstrem kering hampir setiap tahun kecuali tahun 2008 dan 2015 dan puncak kekeringan terparah di terjadi tahun 2013 pada bulan Juli dengan nilai indeks PDSI sebesar -9,312. Sedangkan dengan metode *Thornthwaite-Matter* terjadi kekeringan dengan kategori berat setiap tahun dan puncak kekeringan terjadi tahun 2011 pada bulan Desember dengan presentase nilai indeks *Thornthwaite-Matter* sebesar 99,85 %. Dari hasil evaluasi ketelitian model menunjukkan terdapat kesesuaian antara PDSI-SOI dan *Thornthwaite-Matter*-SOI dari tahun 2006-2015. Metode PDSI memiliki keakuratan lebih baik dibandingkan dengan metode *Thornthwaite-Matter* dengan nilai presentase kesesuaian 81% untuk metode PDSI dan 72% untuk metode *Thornthwaite-Matter*.

Kata kunci: Indeks Kekeringan, PDSI, *Thornthwaite-Matter*, El Nino, SOI

Abstract. The importance of information about the characteristics of drought in an area is needed to anticipate drought disasters. One way to find out the characteristics of drought is through the analysis of the drought index. This study aims to determine the drought index in the Sekotong District with the *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) and *Thornthwaite-Matter* methods, after which the accuracy of the model between the drought indexes of the 2 methods over the El Nino years based on the 2006 SOI values - 2015, then determine the accuracy of the two methods to the drought that occurred to determine the suitable method applied in the Sekotong District. The results showed that with the PDSI method there was a drought with extreme dry category almost every year except in 2008 and 2015 and the peak of the worst drought occurred in 2013 in July with a PDSI index value of -9.312. Whereas with the *Thornthwaite-Matter* method, there is a drought with a heavy category every year and the peak of the drought occurred in 2011 in December with a percentage of the *Thornthwaite-Matter* index value of 99.85%. From the results of the evaluation of the accuracy of the model shows there is a match between PDSI-SOI and *Thornthwaite-Matter*-SOI from 2006-2015. The PDSI method has better accuracy than the *Thornthwaite-Matter* method with a percentage value of 81% suitability for the PDSI method and 72% for the *Thornthwaite-Matter* method.

Keywords: Drought Index, PDSI, *Thornthwaite-Matter*, El Nino, SOI.

Pendahuluan

Kondisi iklim di wilayah Indonesia akhir-akhir ini sering mengalami perubahan. Perubahan secara faktual sudah terjadi di tingkat lokal, regional maupun global tak terkecuali di Provinsi Nusa Tenggara Barat (Prov. NTB). Secara umum perubahan iklim global akan membawa perubahan kepada parameter-parameter cuaca secara spesifik seperti temperatur, curah hujan dan radiasi matahari. Perubahan pada suhu udara yang terus meningkat dan curah hujan yang semakin menurun serta meningkatnya emisi dan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) mengakibatkan terjadinya pemanasan global, diikuti dengan naiknya tinggi permukaan air laut akibat pemuatan dan pencairan es di wilayah kutub sehingga mendorong terjadinya perubahan iklim. Fenomena El Nino dan La Nina sangat berpengaruh terhadap kondisi cuaca dan iklim utamanya di wilayah yang secara geografis berbentuk kepulauan. Fenomena El Nino menyebabkan kekeringan yang luar biasa.

Menurut Chow (1996) Kekeringan adalah peristiwa berkurangnya curah hujan yang cukup besar dan berlangsung lama yang dapat memengaruhi kehidupan makhluk hidup pada suatu daerah dan akan berdampak secara langsung pada Kekeringan adalah kejadian alam yang berpengaruh besar terhadap ketersediaan air dalam tanah yang diperlukan oleh kepentingan pertanian maupun untuk mencukupi kebutuhan makhluk hidup khususnya manusia (Suryanti, 2008 dalam Nugroho, 2013).

Bencana kekeringan yang terjadi di daerah NTB sudah menjadi permasalahan yang serius. Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) NTB tahun 2015, jumlah wilayah yang terkena dampak kekeringan menyebar di 378 desa, 75 kecamatan dan sembilan kabupaten/kota. Dari sembilan daerah, terdapat empat wilayah terparah, yakni Kabupaten Lombok Barat, Lombok Timur, Kabupaten Bima dan Sumbawa Barat. Hal ini disebabkan oleh fenomena El Nino dengan kategori menengah sehingga berdampak pada penurunan jumlah curah hujan di wilayah NTB. Dampak kekeringan terparah di wilayah Kab. Lombok Barat adalah wilayah Kecamatan Sekotong yang terdiri dari 9 desa terdampak kekeringan. (<http://www.mataramnews.com>)

Salah satu cara mengurangi dampak dari kekeringan yang terjadi di Kecamatan Sekotong, yaitu memahami karakteristik iklim di wilayah tersebut dengan baik. Karakterisasi kekeringan merupakan analisis sifat-sifat hujan yang dapat menggambarkan kondisi kekeringan secara fisik atau lokasi, dan analisis indeks kekeringan merupakan analisis yang menunjukkan tingkat

kelas atau derajat kekeringan (Triatmoko, 2012 dalam Herdian, 2014).

Menurut Solikhati (2013) Analisis indeks kekeringan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*, *Standardized Precipitation Index (SPI)*, *Thornthwaite-Matter*, Presentase terhadap normal, *Run*, *Desil*, *Crossing Theory* dan analisa deret hari kering. Metode yang cocok untuk wilayah Indonesia dalam menganalisis kekeringan yaitu metode *Palmer Drought Severity Index (PDSI)* dan *Thornthwaite-Matter* di mana kedua metode tersebut menggunakan data iklim dan tanah wilayah sekitar sebagai parameter analisisnya.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan indeks kekeringan yang terjadi di wilayah Sekotong berdasarkan metode *Palmer Drought Severity Index (PDSI)* dan *Thornthwaite-Matter*, setelah itu akan dievaluasi ketelitian model antara indeks kekeringan dari 2 metode tersebut terhadap tahun-tahun El Nino berdasarkan nilai SOI selama tahun 2006 – 2015, kemudian menentukan keakurasian antara 2 metode tersebut terhadap kekeringan yang terjadi di wilayah Sekotong.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menduga nilai indeks kekeringan di mana dalam proses perhitungannya dapat memanfaatkan beberapa data, di antaranya data iklim dan data kelengkapan tanah seperti disajikan pada Tabel 1 dibawah ini (Solikhati 2013 dalam Anggun, 2015).

Tabel 1. Ragam Metode indeks kekeringan dan inputan jenis datanya.

No	Metode Indeks Kekeringan	Masukan data
1	<i>Palmer Drought Severity Index (PDSI)</i>	Curah hujan, Kapasitas lengas tanah, Evapotranspirasi potensial.
2	<i>Thornthwaite-Matter</i>	Curah hujan, Kapasitas lengas tanah, Evapotranspirasi potensial, Suhu rata-rata bulanan.
3	<i>Standardized Precipitation Index (SPI)</i>	Curah hujan ≥ 20 tahun
4	Presentase terhadap normal	Curah hujan ≥ 30 tahun
5	<i>Run</i>	Curah hujan ≥ 20 tahun
6	<i>Desil</i>	Curah hujan ≥ 25 tahun
7	<i>Crossing Theory</i>	Curah hujan ≥ 50 tahun

Metode *Palmer Drought Severity Index (PDSI)* merupakan metode yang paling banyak digunakan dunia, tak terkecuali Indonesia. Dalam penyebutannya metode ini sering disebut dengan metode *Palmer*. Menurut Hardiani (2008) dan Nugroho (2013) kelembaban tanah sebagai parameter indeks kekeringan.

Tabel 2. Klasifikasi Indeks Kekeringan PDSI

Indeks kekeringan dengan metode *Thornthwaite-Matter* ditemukan pada tahun 1957 dengan konsep neraca air, di mana persentase perbandingan besarnya curah hujan dengan evapotranspirasi potensial. Metode ini sudah banyak digunakan dalam beberapa penelitian untuk menganalisis indeks kekeringan di suatu daerah. Indeks kekeringan dalam metode *Thornthwaite-Matter* dibagi menjadi beberapa tingkatan berdasarkan kelas indeks kekeringan seperti yang terlihat pada Tabel 3 (ILACO, 1985).

Megasains 10 (2): 24-37, 2019

Southern Oscillation Index (SOI) adalah anomali perbedaan tekanan udara permukaan antara Tahiti di kepulauan Polinesia – Perancis dengan tekanan udara permukaan di wilayah Darwin – Australia. Nilai *SOI* dapat menggambarkan kondisi La Nina maupun kondisi El Nino, batas normal *SOI* adalah ± 10 di mana jika nilai *SOI* dibawah (-10) mengindikasikan kondisi El Nino sedangkan jika nilai *SOI* diatas +10 mengindikasikan kondisi La Nina. Adapun Data Indeks Osilasi Selatan 2006 – 2015 disajikan pada Tabel 4 dibawah ini.

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nov	Des
2006	12.7	0.1	13.8	15.2	-9.8	-5.5	-8.9	-15.9	-5.1	-15.3	-1.4	-3.0
2007	-7.3	-2.7	-1.4	-3.0	-2.7	5.0	-4.3	2.7	1.5	5.4	9.8	14.4
2008	14.1	21.3	12.2	4.5	-4.3	5.0	2.2	9.1	14.1	13.4	17.1	13.3
2009	9.4	14.8	0.2	8.6	-5.1	-2.3	1.6	-5.0	3.9	-14.7	-6.7	-7.0
2010	-10.1	-14.5	-10.6	15.2	10.0	1.8	20.5	18.8	25.0	18.3	16.4	27.1
2011	19.9	22.3	21.4	25.1	2.1	0.2	10.7	2.1	11.7	7.3	13.8	23.0
2012	9.4	2.5	2.9	-7.1	-2.7	-10.4	-1.7	-5.0	2.7	2.4	3.9	-6.0
2013	-1.1	-3.6	11.1	0.3	8.4	13.9	8.1	-0.5	3.9	-1.9	9.2	0.6
2014	12.2	-1.3	13.3	8.6	4.4	-1.5	-3.0	-11.4	-7.5	-8.0	10.0	-5.5
2015	-7.8	0.6	-1.1	-3.8	-1.1	-12.1	-1.1	-19.8	-1.1	-1.1	-5.3	-9.1

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan, suhu udara dan kelengasan tanah di wilayah Kecamatan Sekotong selama 10 tahun periode 2006 sampai dengan 2015.



Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan di antaranya adalah uji konsistensi data, mencari nilai evaporasi potensial, analisa lengas tanah atau *Water Holding Capacity (WHC)*, analisa indeks kekeringan, evaluasi ketelitian model dan yang terakhir adalah memverifikasi indeks kekeringan dengan metode *PDSI* dan *Thornthwaite-Matter*.

Untuk memperoleh hasil analisis yang baik, data hujan harus dilakukan pengujian konsistensi terlebih dahulu untuk mendeteksi penyimpangan ini. Uji konsistensi juga meliputi homogenitas data karena data konsisten berarti data homogen. Pengujian konsistensi ada berbagai cara di antaranya RAPS. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993) :

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y}$$

$$K = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, n$$

dengan :

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah data hujan} \\ Y_i &= \text{data curah hujan (mm)} \\ \bar{Y} &= \text{rerata curah hujan (mm)} \\ S_k^*, S_k^{**}, D_y &= \text{nilai statistik} \end{aligned}$$

Nilai statistik Q

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}|$$

Nilai Statistik R (*Range*)

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**}$$

dengan :

$$\begin{aligned} Q &= \text{nilai statistik} \\ n &= \text{jumlah data hujan} \end{aligned}$$

Dengan melihat nilai statistik di atas maka dapat dicari nilai $Qy/\sqrt{n}$ dan $Ry/\sqrt{n}$ hitungan. Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai $Qy/\sqrt{n}$ syarat dan $Ry/\sqrt{n}$ tabel.

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai evapotranspirasi potensial (ETP), di mana ETP sangat dipengaruhi oleh suhu udara dan lama penyinaran matahari. Dinyatakan dalam satu bulan terdapat 30 hari dan lama penyinaran per hari adalah 12 jam, maka persamaan untuk mencari nilai ETP adalah sebagai berikut:

$$ETP_x = 1.62 \left(\frac{10.7 T_m}{I} \right)^a$$

$$ETP = f \times ETP_x$$

Di mana:

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 492 \times 10^{-3}$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514}$$

Di mana:

ETP_x : evapotranspirasi potensial bulanan yang belum disesuaikan faktor f (cm)

ETP : evapotranspirasi potensial bulanan (cm)

T_m : temperatur bulanan rerata (°C)

f : koefisien koreksi (tabel koefisien penyesuaian menurut lintang dan bulan)

I : indeks panas tahunan

Apabila tidak terdapat data pengamatan suhu udara dapat dilakukan dengan melakukan pendugaan dari stasiun terdekat dengan memperhitungkan faktor ketinggian tempat dengan persamaan Mock (1973) :

$$\Delta t = 0,006 (Z1 - Z2)$$

Dengan :

Δt : perbedaan suhu antara stasiun acuan dengan yang di analisis (°C)

$Z1$: ketinggian stasiun acuan (m)

$Z2$: ketinggian stasiun hujan yang diperhitungkan (m).

Setelah nilai ETP didapat langkah selanjutnya adalah menghitung selisih antara curah hujan (P) dan evapotranspirasi (ET), di mana jika $(P-ET) > 0$ maka terjadi peningkatan curah hujan pada periode Bulan Basah, sedangkan jika $(P-ET) < 0$ maka terjadi penurunan curah hujan atau disebut sebagai bulan kering. Kemudian setelah itu menghitung jumlah kumulatif dari defisit curah hujan *APWL* (*Accumulated Potential Water Loss*) dengan cara menjumlahkan angka-angka $(P-ET)$ untuk bulan-bulan yang memiliki evapotranspirasi potensial lebih tinggi dari curah hujan negatif, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$APWL = -\sum_1^n (P - ET)_{neg}$$

$$APWL_i = APWL_{i-1} + (P - ET)_{neg}$$

Apabila $P > ET$, seri data ini terputus $APWL = 0$

Kemudian perhitungan selanjutnya adalah menghitung kelengasan tanah, di mana pada bulan-bulan basah ($P < ET$), maka nilai $ST = ST_0$ (WHC), sedangkan jika pada bulan-bulan kering

nilai ST didapat dengan menggunakan persamaan berikut

$$ST = ST_0 \times e^{-\left(\frac{APWL}{ST_0}\right)}$$

Di mana :

ST : kandungan lengas tanah dalam daerah perakaran (mm)

ST₀ : Kandungan lengas tanah dalam kondisi lapang (mm) ST₀ yang dimaksud dalam rumus ini nilainya = WHC

e : Bilangan Navier (e=2,718)

APWL : Jumlah kumulatif dari defisit curah hujan (mm).

Setelah nilai kelengasan tanah didapat maka perlu dicari lagi nilai perubahan kandungan dari kelengasan tanah tersebut. Perubahan kandungan lengas tanah (ΔST) tiap bulan di dapat dengan cara mengurangkan lengas tanah (ΔST) pada bulan yang bersangkutan dengan (ST) pada bulan sebelumnya ($\Delta ST = ST_i - ST_{i-1}$) maka nilai negatif menyebabkan tanah menjadi kering.

Selanjutnya mencari nilai evapotranspirasi aktual (EA) di mana Pada bulan-bulan basah ($P > ET$), nilai EA=ET sedangkan Pada bulan-bulan kering ($P < ET$), nilai EA= $P - \Delta ST$ yang kemudian mencari nilai defisit (Kekurangan Lengas) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = ET - EA$$

Di mana :

D : Defisit (mm/bulan)

ET : Evapotranspirasi Potensial (mm/bulan)

EA : Evapotranspirasi Aktual (mm/bulan)

Setelah nilai defisit lengas tanah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari surplus (Kelebihan Lengas), dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S = (P - ET) - \Delta ST$$

Di mana :

S : Surplus (mm/bulan)

P : Curah Hujan (mm/bulan)

ET : Evapotranspirasi Potensial (mm/bulan)

ΔST : Perubahan lengas tanah (mm)

Setelah nilai defisit dan surplus diketahui kemudian menghitung limpasan (R_o). Di mana limpasan dapat menunjukkan besarnya air yang mengalir dipermukaan tanah. Menghitungnya 50% dikalikan dengan nilai surplus.

Menghitung pengisian lengas tanah potensial (PR)

$$PR = WHC - ST$$

Menghitung pengisian lengas tanah (R)

Pengisian lengas tanah terjadi jika ST pada bulan sebelumnya lebih kecil dari ST pada bulan bersangkutan, penambahan nilai ST tersebut menjadi pengisian lengas tanah.

$$R = ST - ST_{j-1}$$

Di mana :

R : Pengisian lengas tanah

ST : Kandungan lengas tanah dalam perakaran bulan tersebut

ST_{j-1} : Kandungan lengas tanah dalam perakaran bulan sebelumnya

Menghitung kehilangan lengas tanah potensial (PL)

$$PL = ET - \Delta ST$$

Menghitung kehilangan lengas tanah (L)

$$L = ST_{j-1} - ST$$

Penentuan koefisien

Koefisien yang dimaksud adalah untuk menentukan nilai CAFEC (*Climatically Appropriate for Existing Condition*). Nilai koefisien-koefisien datas ditentukan dengan rumus :

a. Koefisien evapotranspirasi

$$\alpha = \frac{\bar{AE}}{ET}$$

b. Koefisien pengisian lengas ke dalam tanah

$$\beta = \frac{R}{PR}$$

c. Koefisien limpasan

$$\gamma = \frac{R_o}{S}$$

d. Koefisien kehilangan lengas tanah

$$\delta = \frac{L}{PL}$$

e. Pendekatan terhadap pembobot iklim

$$K = \frac{(ET + R)}{(P + L)}$$

Penentuan nilai CAFEC (*Climatically Appropriate for Existing Condition*)

a. Menentukan nilai evapotranspirasi CAFEC

$$\bar{ET} = \alpha * ET$$

b. Menentukan pengisian lengas ke dalam tanah CAFEC

$$\bar{R} = \beta * PR$$

c. Menentukan nilai limpasan CAFEC

$$\bar{R}_o = \gamma * R_o$$

d. Menentukan kehilangan lengas tanah CAFEC

$$\bar{L} = \delta * PL$$

e. Menentukan kehilangan presipitasi CAFEC

$$\hat{P} = \bar{ET} + \bar{R} + \bar{R}_o - \bar{L}$$

Penentuan periode kekurangan atau kelebihan hujan (d)

$$d = P - \hat{P}$$

Penentuan nilai mutlak ($\bar{D}$)

$$\bar{D} = \text{rata-rata nilai } d$$

Pendekatan kedua terhadap nilai factor K (k')

$$K' = 1.5 \log_{10} \left(\left(\frac{PE + R + R_o}{P + L} + 2.80 \right) : \frac{25.4}{S} \right) + 0.5$$

$$DK' = \bar{D} * k'$$

Karakter iklim sebagai faktor pembobot (K)

$$K = \frac{\bar{D} * K'}{\sum_{i=1}^{12} \bar{D} * K'}$$

Indeks penyimpangan (anomali) lengas (Z)

$$Z = d * K$$

Indeks kekeringan PDSI

$$X = \left(\frac{z}{3}\right)_{j-1} + \Delta X$$

$$\Delta X = \left(\frac{z}{3}\right)_j - 0.103 \left(\frac{z}{3}\right)_{j-1}$$

Indeks kekeringan *Thornthwaite-Matter*

$$Ia = \frac{D}{ET} \times 100\%$$

Di mana :

D : Defisit (mm/bulan)

ET : Evapotranspirasi Potensial (mm/bulan)

Ia : Indeks Kekeringan (%)

Evaluasi Ketelitian Model

Evaluasi ketelitian model ini bertujuan untuk mengetahui apakah El Nino mempunyai kesesuaian dengan kekeringan yang terjadi di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat dengan cara dilakukan perbandingan antara nilai indeks kekeringan dengan nilai El Nino (SOI).

Perbandingan ini dilakukan dengan cara melakukan uji-uji statistik antara lain Koefisien korelasi (r), selisih volume error (VE) dan uji nilai presentase kesesuaian data.

Koefisien Korelasi

Yang mana nilai $r = 1$ berarti bahwa korelasi antara peubah y dan x adalah positif (meningkatkan nilai x akan mengakibatkan meningkatnya nilai y), sebaliknya jika $r = -1$, berarti korelasi antara peubah y dan x adalah negatif (meningkatkan nilai x akan mengakibatkan menurunnya nilai y). Nilai $r = 0$ menyatakan tidak ada korelasi antar peubah. Perhitungannya dapat dilakukan secara manual atau dapat pula dihitung dengan bantuan lembar kerja *Microsoft Excel*, menggunakan fungsi = CORREL(array1,array2).

Bentuk persamaan koefisien korelasi sebagai berikut (Suwarno, 1995):

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_{obs} - \bar{X}_{obs}) \cdot (X_{sim} - \bar{X}_{sim})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(X_{obs} - \bar{X}_{obs})^2 \cdot (X_{sim} - \bar{X}_{sim})^2]}}$$

Di mana:

X_{obs} = Nilai pengamatan

$\bar{X}_{obs}$ = Rata-rata nilai pengamatan

X_{sim} = Nilai model

$\bar{X}_{sim}$ = Rata-rata nilai model

Tabel 5. Skala nilai r

r	Interpretasi
0	Tidak Berkorelasi
0,01 – 0,02	Sangat Rendah
0,21 – 0,40	Rendah
0,41 – 0,60	Agak Rendah

0,61 – 0,80

Cukup

0,81 – 0,99

Tinggi

1

Sangat Tinggi

Akan tetapi pada studi ini akan digunakan rumus korelasi pada *Microsoft Excel*.

Selisih Volume Error (VE)

Besarnya selisih volume error (V_E) merupakan antara data hasil perhitungan dengan data observasi perlu dilakukan, di mana yang menjadi data hasil perhitungan di sini adalah Indeks Kekeringan dan data observasi adalah Indeks Osilasi Selatan.

$$V_E = \frac{\sum_{i=1}^n X_{obs} - \sum_{i=1}^n X_{sim}}{\sum_{i=1}^n X_{obs}}$$

Di mana:

X_{obs} = Nilai Pengamatan Lapangan

X_{sim} = Nilai Model

Uji Nilai Presentase Kesesuaian Data

Kesesuaian data yang dimaksud disini adalah menyesuaikan klasifikasi atau kategori dari pengamatan lapangan yaitu nilai SOI dengan data model indeks kekeringan. Jika terdapat tingkatan atau kategori yang sama sesuai kelas masing-masing maka itu dikatakan "SESUAI" dan jika tidak maka dinyatakan "TIDAK SESUAI". Data-data yang mempunyai kategori sama akan dikalkulasikan atau dijumlahkan kemudian di presentasekan jumlahnya.

Hasil dan Pembahasan

Data curah hujan wilayah Sekotong periode 2006-2015 dilakukan uji konsistensi data dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Dari hasil uji konsistensi data untuk uji RAPS data curah hujan, didapatkan nilai $\frac{Q}{\sqrt{n}} < \frac{Q}{\sqrt{n}}$ ijin 90% serta $\frac{R}{\sqrt{n}} < \frac{R}{\sqrt{n}}$ ijin 90% sudah memenuhi syarat.

Berdasarkan hasil uji konsistensi data dengan menggunakan RAPS pada pos hujan Sekotong adalah konsisten, di mana data yang konsisten menunjukkan data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini tidak mengalami perubahan sifat ataupun pergeseran nilai rata-ratanya (*mean*). Hasil uji konsistensi data dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Uji Konsistensi Data dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) terhadap data curah hujan Sekotong periode 2006-2015

No	Tahun	Hujan	SK*	DY ²	SK**	ISK*
1	2	3	4	5	6	7
1	2006	1517,500	78,231	612,013	0,298	0,298
2	2007	1813,500	452,463	14004,903	1,721	1,721
3	2008	1287,000	300,194	2318,577	1,142	1,142
4	2009	1373,750	234,675	429,271	0,893	0,893
5	2010	1396,938	192,344	179,193	0,732	0,732
6	2011	972,000	-274,925	21834,008	-1,046	-1,046
7	2012	1564,300	-149,894	1563,281	-0,570	-0,570
8	2013	1865,800	276,638	18192,891	1,053	1,053
9	2014	1475,900	313,269	134,185	1,192	1,192
10	2015	1126,000	0,000	9813,731	0,000	0,000
Total		14392,688		69082,053		
Rata-Rata		1439,269				
Hasil akar				262,835		
n	10					
Sk** maks	1,721	Sk** maks = maks kolom 6				
Sk** min	-1,046	Sk** min = min kolom 6				
Q	1,721	Q = maks kolom 7				
R	2,767	R = SK** maks - SK** min				
Q / (n) ^(1/2) hit	0,544	<	Q / (n) ^(1/2) tabel	90%	=	1,05 OK!!
R / (n) ^(1/2) hit	0,875	<	R / (n) ^(1/2) tabel	90%	=	1,21 OK!!

Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi potensial dipengaruhi oleh temperatur dan lama penyinaran matahari. Untuk 30 hari dalam satu bulan dan penyinaran matahari 12 jam per hari. Berdasarkan hasil perhitungan evapotranspirasi potensial selama 10 tahun (2006-2015) dapat dilihat pada Tabel 7.

Analisis Lengan Tanah / Water Holding Capacity (WHC)

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4 versi Trial untuk menentukan lengan tanah. Perhitungan WHC dapat dilakukan dengan bantuan ArcGIS 10.4. Caranya adalah dengan menggabungkan peta rupa bumi dengan peta penggunaan lahan dan peta tekstur tanah. Dari data hasil penggabungan peta dilakukan perhitungan WHC dengan melihat presentase luas penggunaan lahan yang dominan kemudian dapat diketahui nilai air tersedia dan nilai kedalaman zona perakaran yang

Tabel 7. Hasil Perhitungan evapotranspirasi potensial dengan menggunakan data suhu udara bulanan di Stasiun Klimatologi Lombok Barat.

Bulan	ETP (mm)									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	138	154	148	147	155	140	140	151	145	149
Februari	124	129	127	126	137	131	134	130	130	124
Maret	142	142	129	145	145	138	138	147	138	136
April	140	129	128	147	143	126	138	139	138	138
Mei	130	130	120	134	142	128	128	138	144	128
Juni	101	110	101	113	116	97	101	129	115	106
Juli	95	95	92	108	117	100	94	109	105	97
Agustus	93	101	111	115	127	104	101	109	106	101
September	107	112	127	122	127	123	120	119	113	112
Oktober	143	149	155	148	146	149	157	149	147	145
November	161	147	140	163	151	147	157	151	157	166
Desember	164	146	152	166	149	160	153	145	153	164

terdapat pada table pendugaan kapasitas air tersedia berdasarkan kombinasi tipe tanah dan vegetasi. Sehingga dapat diketahui nilai lengan tanah terduga. Pendugaan jumlah air tersedia dapat dilihat pada Tabel 8 (Thornthwaite, 1975).

Tabel 8. Pendugaan Air Tersedia berdasarkan kombinasi data tekstur tanah dan vegetasi penutup.

Tekstur Tanah	Air Tersedia (mm/m)	Zona Perakaran (m)	Lengan Tanah Tertahan (mm)
Tumbuhan berakar dangkal			
Pasir Halus	100	0,5	50
Lempung berpasir halus	150	0,5	75
Lempung berdebu	200	0,62	125

Lempung berliat	250	0,4	100
Liat	300	0,25	75
Hutan belantara tertutup			
Pasir Halus	100	2,5	250
Lempung berpasir halus	150	2	300
Lempung berdebu	200	2	400
Lempung berliat	250	1,6	400
Liat	300	1,17	350

Berdasarkan hasil dari analisa peta tata guna lahan, peta jenis dan tekstur tanah yang telah diolah pada software ArcGIS 10.4 untuk wilayah Kecamatan Sekotong, didapatkan hasil kombinasi tekstur tanah yang dominan adalah jenis lempung liat berdebu dan vegetasi penutup

dominan adalah semak belukar sehingga jika di sesuaikan dengan Tabel 8 maka kecamatan Sekotong termasuk dalam tipe daerah tumbuhan berakar dangkal dengan nilai duga air tersedia sebesar 250 mm/m, zona perakaran sebesar 0,40 m dan didapatkan nilai lengas tanah sebesar 100 mm.

Analisa Indeks Kekeringan

Metode *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*

Dengan Metode PDSI didapatkan hasil indeks kekeringan seperti disajikan pada Tabel 9 dibawah ini. Tabel 10 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa pada stasiun hujan Sekotong dari tahun 2006-2015 mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan ekstrem kering hampir sepanjang tahun dengan lama kejadian yang berbeda-beda. Hanya pada tahun 2008 dan 2015 tidak terjadi kekeringan dengan tingkat ekstrem kering. Puncak kekeringan dengan kategori ekstrem kering (paling parah) terjadi pada tahun 2013

bulan Juli dengan nilai indeks PDSI sebesar -9,312.

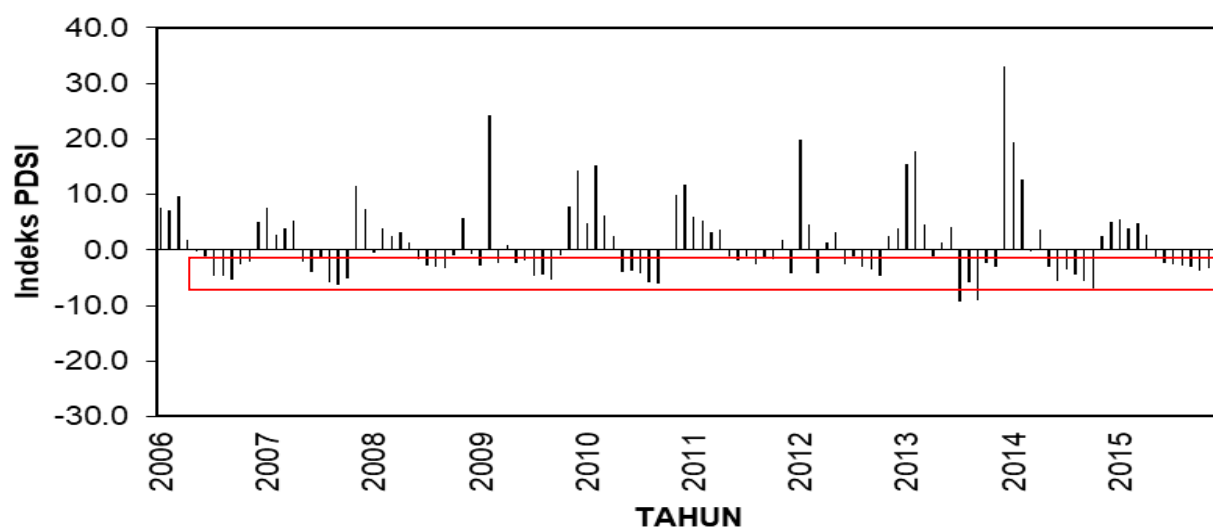
Tabel 9 dibawah ini menunjukkan perhitungan indeks kekeringan PDSI tahun 2013

Tabel 9. Klasifikasi tingkat kekeringan PDSI Stasiun Hujan Sekotong tahun 2013.

Bulan	X	Klasifikasi
Januari	15,51	EB
Februari	17,65	EB
Maret	4,54	EB
April	-1,28	SEK
Mei	1,32	SEB
Juni	4,17	EB
Juli	-9,31	EK
Agustus	-5,88	EK
September	-8,97	EK
Oktober	-2,35	AK
November	-2,96	AK
Desember	33,06	EB

Tabel 10. Rekapitulasi klasifikasi tingkat kekeringan PDSI Stasiun Hujan Sekotong dari tahun 2006-2015

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2006	EB	EB	EB	SEB	N	SEK	EK	EK	EK	AK	AK	EB
2007	EB	AB	SAB	EB	AK	EK	SEK	EK	EK	EK	EB	EB
2008	N	SAB	AB	SAB	SEB	SEK	AK	AK	SAK	ASK	EB	ASK
2009	AK	EB	AK	ASB	AK	SEK	EK	EK	EK	ASK	EB	EB
2010	EB	EB	EB	AB	SAK	SAK	EK	EK	EK	N	EB	EB
2011	EB	EB	SAB	SAB	SEK	SEK	SEK	AK	SEK	SEK	SEB	EK
2012	EB	EB	EK	SEB	SAB	AK	SEK	SAK	SAK	EK	AB	SAB
2013	EB	EB	EB	SEK	SEB	EB	EK	EK	EK	AK	AK	EB
2014	EB	EB	N	SAB	SAK	EK	SAK	EK	EK	EK	AB	EB
2015	EB	SAB	EB	AB	SEK	AK	AK	AK	SAK	SAK	SAK	EB



Gambar 2. Grafik nilai Indeks Kekeringan PDSI Stasiun Hujan Sekotong tahun 2006-2015

Keterangan :

□ : Indeks Kekeringan PDSI dengan

Kategori Ekstrem Kering

EB : Ekstrem Basah

EK : Ekstrem Kering
 SAB : Sangat Basah
 SAK : Sangat Kering
 AB : Agak Basah
 AK : Agak Kering

SEB : Sedikit Basah
 SEK : Sedikit Kering
 ASB : Awal Selang Basah
 ASK : Awal Selang Kering
 N : Normal

Tabel 9 menunjukkan bahwa hujan Sekotong di tahun 2013 mengalami periode bulan basah selama enam bulan yaitu Januari, Februari, Maret, Mei, Juni, dan Desember. Tidak terdapat periode normal, sedangkan periode bulan kering

berlangsung selama enam bulan yaitu April, Juli, Agustus, September, Oktober, dan November. Puncak kekeringan dengan kategori ekstrem kering terjadi pada bulan Juli dengan nilai indeks -9,31.

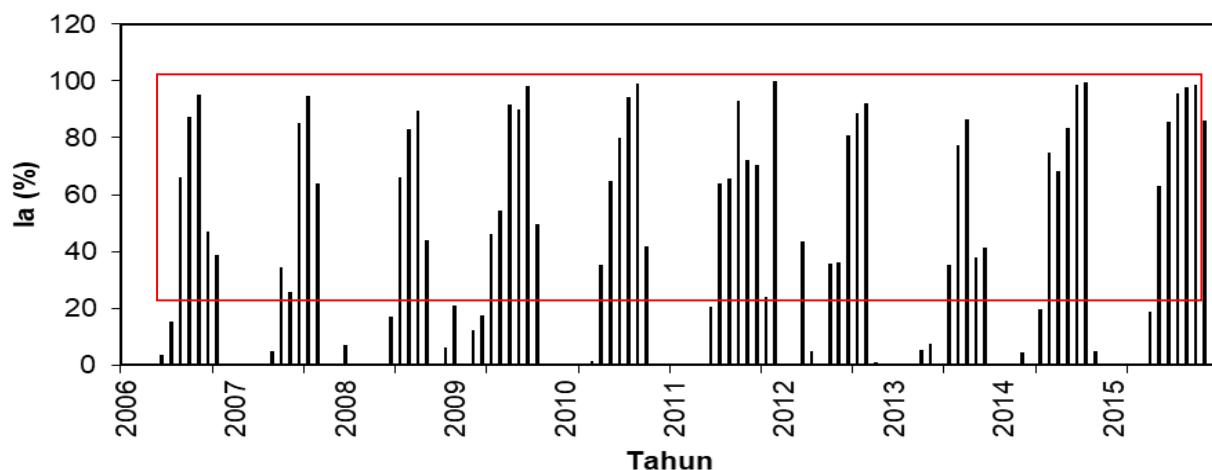
Metode Thornthwaite-Matter

Dengan Metode *Thornthwaite-Matter* didapatkan hasil indeks kekeringan seperti disajikan pada Tabel 11 dibawah ini. Tabel 11 dan Gambar 3 dibawah ini menunjukkan bahwa pada stasiun hujan Sekotong dari tahun 2006-2015 mengalami kekeringan dengan

tingkat kekeringan berat hampir sepanjang tahun dengan lama kejadian yang berbeda-beda. Puncak kekeringan dengan kategori berat terjadi pada tahun 2011 bulan Desember dengan nilai indeks *Thornthwaite-Matter* sebesar 99,85 %.

Tabel 11. Rekapitulasi klasifikasi tingkat kekeringan *Thornthwaite-Matter* Stasiun Hujan Sekotong dari tahun 2006-2015

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2006	TA	TA	TA	TA	R	R	B	B	B	B	B	TA
2007	TA	TA	TA	TA	R	B	S	B	B	B	TA	TA
2008	R	TA	TA	TA	TA	S	B	B	B	B	TA	R
2009	S	TA	R	S	B	B	B	B	B	B	TA	TA
2010	TA	TA	TA	R	B	B	B	B	B	B	TA	TA
2011	TA	TA	TA	TA	S	B	B	B	B	B	S	B
2012	TA	TA	B	R	TA	B	B	B	B	B	TA	TA
2013	TA	TA	TA	R	R	TA	B	B	B	B	B	TA
2014	TA	TA	R	TA	S	B	B	B	B	B	R	TA
2015	TA	TA	TA	TA	B	B	B	B	B	B	B	TA



Gambar 3. Grafik nilai Indeks Kekeringan *Thornthwaite-Matter* Stasiun Hujan Sekotong tahun 2006-2015

Keterangan :
 [Red Box] : Indeks Kekeringan *Thornthwaite-Matter* dengan Kategori Berat.

TA : Tidak Ada
 R : Ringan
 S : Sedang
 B : Berat

Tabel 12 di bawah ini menunjukkan bahwa tidak terjadi kekeringan selama empat bulan yaitu Januari, Februari, April dan Desember.

Sebaliknya mengalami kejadian kekeringan selama delapan bulan yaitu Maret, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober dan November. Di

mana Puncak kekeringan dengan kategori berat (>33%) terjadi pada bulan Oktober dengan nilai indeks 99,59%.

Evaluasi Ketelitian Model

Evaluasi ketelitian model ini bertujuan untuk mengetahui apakah El Nino mempunyai kesesuaian dengan kekeringan yang terjadi di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat dengan cara dilakukan perbandingan antara nilai indeks kekeringan dengan nilai El Nino (SOI). Pada studi ini dilakukan evaluasi dengan ketelitian model dengan skala per tahun dan keseluruhan tahun, dengan tujuan agar dapat diketahui hubungan keeratan data secara lebih mendetail dan untuk mengetahui hubungan data ketika di analisa per tahun maupun keseluruhan tahun.

Evaluasi Ketelitian Model PDSI-SOI

Dari uji-uji statistik antara lain Koefisien korelasi (r), selisih volume error (VE) dan uji nilai presentase kesesuaian data, didapatkan hasil perhitungan seperti disajikan pada Tabel 13.

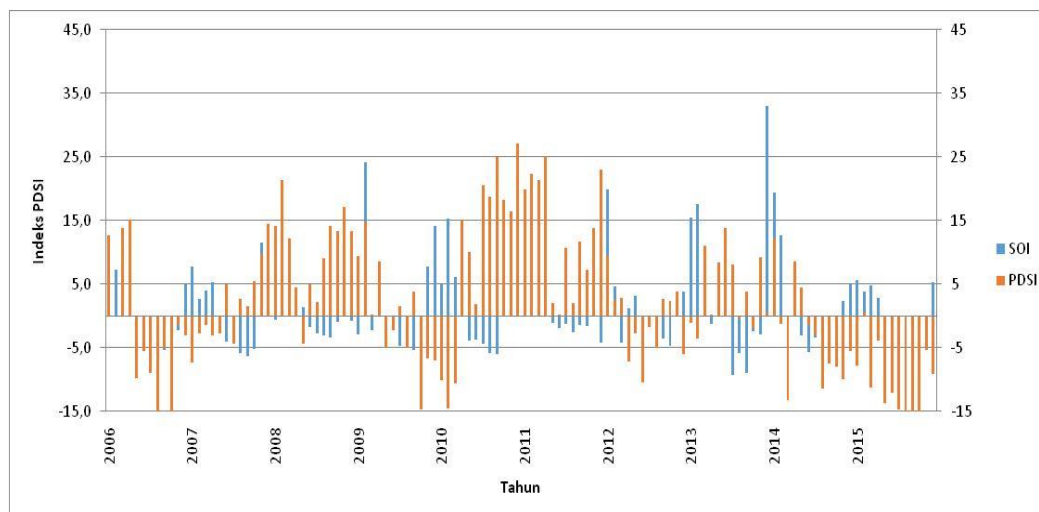
Tabel 12. Klasifikasi tingkat kekeringan Thornthwaite-Matter Stasiun Hujan Sekotong tahun 2014

Bulan	la (%)	klasifikasi
Januari	0.00	TA
Februari	0.00	TA
Maret	4.22	R

April	0.00	TA
Mei	19.56	S
Juni	74.85	B
Juli	68.07	B
Agustus	83.66	B
September	98.55	B
Oktober	99.59	B
November	4.78	R
Desember	0.00	TA

Tabel 13. Rekapitulasi nilai evaluasi ketelitian model metode PDSI terhadap nilai SOI tahun 2006-2015

Tahun	R	VE	Presentase kesesuaian (%)
2006	0,73	1,44	25,00
2007	0,13	0,20	33,33
2008	0,27	0,97	33,33
2009	0,26	10,61	33,33
2010	-0,40	0,77	8,33
2011	0,60	0,96	25,00
2012	0,45	2,76	66,67
2013	-0,32	0,06	16,67
2014	0,56	1,39	33,33
2015	0,62	1,02	16,67
Rata-rata	0,29	2,02	29,17



Gambar 4. Grafik pola hubungan keseluruhan tahun PDSI-SOI tahun 2006-2015

Tabel 13 menunjukkan bahwa untuk evaluasi ketelitian PDSI-SOI per tahun memiliki angka korelasi dengan interpretasi yang bervariasi, dari interpretasi rendah sampai interpretasi baik, di mana tahun 2006 memiliki angka korelasi

tertinggi yaitu 0,73 dan angka Volume Error yang berbeda dari mendekati angka 0 hingga jauh dari 0, tahun 2013 memiliki nilai Volume Error yang cukup bagus yaitu 0,06. Begitu juga dengan nilai presentase kesesuaian, presentase tertinggi

terdapat pada tahun 2012 dengan nilai sebesar 66,67%. Hal ini dikarenakan setiap tahun pengamatan hanya beberapa saja yang memperlihatkan adanya hubungan yang searah, dapat dilihat pada Gambar 4. Evaluasi ketelitian PDSI-SOI keseluruhan tahun memiliki angka korelasi dengan interpretasi rendah yaitu sebesar 0,29 dengan nilai VE kecil yaitu sebesar 2,02 serta nilai presentase kesesuaian sebesar 29,17%. Hal ini dikarenakan selama tahun pengamatan hanya beberapa saja yang memperlihatkan adanya hubungan yang searah (menurunnya nilai SOI akan mengakibatkan menurunnya nilai PDSI dan meningkatnya nilai

SOI akan mengakibatkan meningkatnya nilai PDSI), dapat dilihat pada Gambar 4.

Evaluasi Ketelitian Model *Thornthwaite-Matter-SOI*

Indeks Kekeringan *Thornthwaite-Matter* dan SOI memiliki rentang nilai yang berbeda, untuk membuat nilai *Thornthwaite-Matter* dan SOI sebanding maka dilakukan pengkategorian ke dalam kelas yang mendekati. Pengkategorian tersebut dapat dilihat pada Tabel 14 dibawah ini.

Tabel 14. Pengkategorian Indeks Kekeringan *Thornthwaite-Matter* dan SOI dalam kelas yang mendekati.

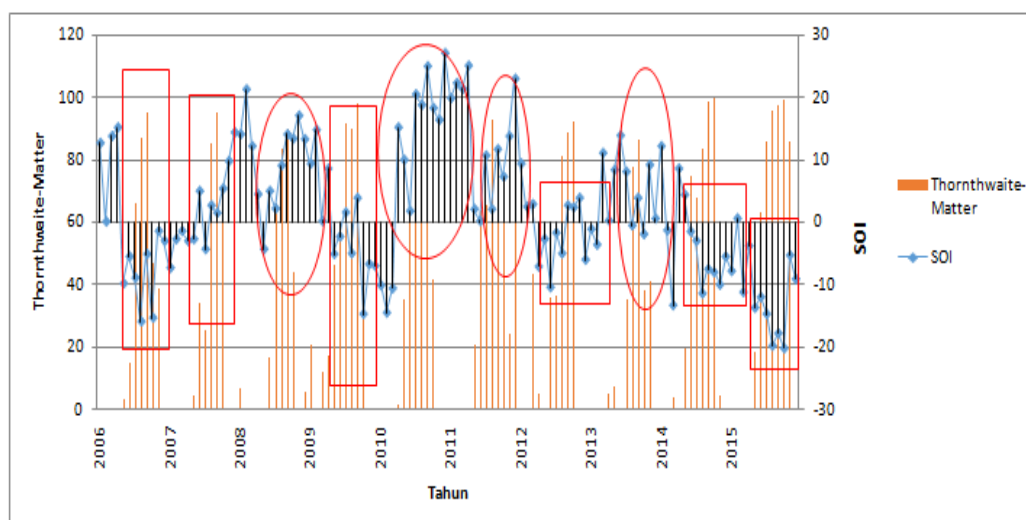
Nilai SOI	Klasifikasi	Nilai Thornthwaite-matter (%)	Klasifikasi	Kelas
5 s.d -10	ENL atau N	<16,77	R atau TA	1
-10 s.d -15	ENS	16,77-33,33	S	2
≤ -15	ENK	>33,33	B	3

Setelah dibuat dalam kelas yang mendekati maka evaluasi ketelitian model antara Indeks Kekeringan *Thornthwaite-Matter* dan SOI dapat dilakukan. Dari uji-uji statistik antara lain Koefisien korelasi (r), selisih volume error (VE) dan uji nilai presentase kesesuaian data, didapatkan hasil perhitungan seperti disajikan pada Tabel 15 dibawah ini. Tabel 15 menunjukkan bahwa untuk evaluasi ketelitian *Thornthwaite-Matter-SOI* per tahun memiliki angka korelasi dengan interpretasi yang bervariasi, dari interpretasi rendah sampai interpretasi bagus di mana tahun 2015 memiliki angka korelasi tertinggi yaitu 0,67 dan angka Volume Error yang berbeda dari mendekati angka 0 hingga jauh dari 0, di mana tahun 2015 memiliki nilai Volume Error yang cukup bagus yaitu -0,14. Begitu juga dengan nilai presentase kesesuaian, presentase tertinggi terdapat pada tahun 2006 dengan nilai sebesar 75%. Hal ini dikarenakan setiap tahun pengamatan hanya beberapa saja yang memperlihatkan adanya hubungan yang searah (semakin nilai SOI menunjukkan angka negatif (-) maka Indeks *Thornthwaite-Matter* meningkat (%) dan sebaliknya), dapat dilihat pada Gambar 10. Evaluasi ketelitian *Thornthwaite Matter-SOI* keseluruhan tahun memiliki angka korelasi

dengan interpretasi rendah yaitu sebesar 0.11 dengan nilai VE kecil yaitu sebesar -0,55 serta nilai presentase kesesuaian sebesar 45,83%. Hal ini dikarenakan selama tahun pengamatan hanya beberapa saja yang memperlihatkan adanya hubungan yang searah (semakin nilai SOI menunjukkan angka negatif (-) maka Indeks *Thornthwaite-Matter* meningkat (%) dan sebaliknya), dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 15. Rekapitulasi nilai koefisien korelasi (r), selisih volume error (VE) dan presentase kesesuaian data antara *Thornthwaite-Matter-SOI* di stasiun hujan Sekotong tahun 2006-2015

Tahun	R	VE	Presentase Kesesuaian (%)
2006	0,53	-0,38	75,00
2007	0,19	-0,31	58,33
2008	-0,24	-0,62	41,67
2009	0,28	-0,86	41,67
2010	-0,58	-0,60	16,67
2011	0,32	-0,93	33,33
2012	0,00	-0,71	41,67
2013	0,03	-0,42	50,00
2014	-0,15	-0,53	33,33
2015	0,67	-0,14	66,67
Rata-rata	0,11	-0,55	45,83



Gambar 9. Grafik pola hubungan keseluruhan tahun Thornthwaite Matter-SOI tahun 2006-2015.

Keterangan :
 [Kotak Merah] : Thornthwaite-Matter sudah mengikuti pola SOI
 [Lingkaran Merah] : Thornthwaite-Matter tidak mengikuti pola SOI

Verifikasi indeks kekeringan metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan metode *Thornthwaite-Matter* terhadap data kekeringan BPBD Provinsi NTB

Verifikasi dilakukan dengan membandingkan data hasil perhitungan dari kedua metode tersebut dengan *history* kejadian bencana kekeringan yang pernah terjadi di Kecamatan Sekotong dari tahun 2006-2015. Kemudian dilakukan akurasi data dengan keluaran presentase kesesuaian (Tabel 17). Data pembandingan di dapat dari BPBD Provinsi NTB,

tetapi karena BPBD Provinsi NTB berdiri dari tahun 2010, maka penulis hanya mendapatkan data dari tahun 2010 sampai dengan 2015 saja. Berikut adalah verifikasi keakuratan kekeringan dari metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan metode *Thornthwaite-Matter* dengan data dari BPBD Provinsi NTB yang tersaji dalam Tabel 16 dibawah ini. Hasil verifikasi data dengan keluaran presentase kesesuaian disajikan pada Tabel 17.

Tabel 16. History Bencana Kekeringan di Kecamatan

No	Tahun	Periode Kekeringan	Desa yang terdampak kekeringan
1	2010	Maret	Pelangan
2	2011	-	-
3	2012	Mei - Oktober	Sekotong Tengah, Candi Manik, Buwun Mas, Pelangan
4	2013	Agustus - Spetember	Sekotong Tengah, Pelangan
5	2014	April - November	Sekotong Tengah, Candi Manik, Buwun Mas, Pelangan
6	2015	Juli - November	Sekotong Tengah

Tabel 17. Verifikasi indeks kekeringan metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan metode *Thornthwaite-Matter* dengan data BPBD Provinsi NTB

No	Tahun	Periode Kekeringan			Presentase Kesesuaian	
		BPBD	PDSI	<i>Thornthwaite-Matter</i>	BPBD-PDSI	BPBD- <i>Thornthwaite-Matter</i>
1	2010	Maret	Juli s/d September	Mei s/d Oktober	67%	42%
2	2011	Tidak Ada	Desember	Juni s/d Oktober	92%	58%
3	2012	Mei s/d	Agustus s/d	Juni s/d	75%	92%

		Oktober Agustus s/d September	Oktober Juli s/d September	Oktober Juli s/d Oktober		
4	2013				92%	83%
5	2014	April s/d November	Juni s/d Oktober	Juni s/d Oktober	75%	75%
6	2015	Juli s/d November	September s/d November	Mei s/d November	83%	83%
Rata-rata					81%	72%

Tabel 17 menunjukkan bahwa hasil verifikasi indeks kekeringan metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan metode *Thornthwaite-Matter* terhadap data kekeringan BPBD Provinsi NTB dengan melakukan akurasi data melalui presentase kesesuaian untuk BPBD-PDSI sebesar 81% dan BPBD-*Thornthwaite-Matter* sebesar 72%. Hal itu menunjukkan bahwa metode PDSI dan *Thornthwaite-Matter* cukup akurat dan bisa diterapkan di Kecamatan sekotong untuk analisa indeks kekeringan.

KESIMPULAN

Berdasarkan data dari hasil penelitian ini dan analisis model ketelitian, maka dapat dikemukakan bahwa, dengan metode *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) pada stasiun hujan Sekotong dari tahun 2006-2015 mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan ekstrem kering hampir sepanjang tahun dengan lama kejadian yang berbeda-beda. Hanya pada tahun 2008 dan 2015 tidak terjadi kekeringan dengan tingkat ekstrem kering. Puncak kekeringan dengan kategori ekstrem kering (paling parah) terjadi pada tahun 2013 bulan Juli dengan nilai indeks PDSI sebesar -9,312, dan kecenderungan periode bulan kering setiap tahunnya terjadi dari bulan Juni sampai dengan Desember. Kemudian dengan menggunakan metode *Thornthwaite-Matter* pada stasiun hujan Sekotong dari tahun 2006-2015 mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan berat sepanjang tahun dengan lama kejadian yang berbeda-beda. Puncak kekeringan dengan kategori berat terjadi pada tahun 2011 bulan Desember dengan nilai indeks *Thornthwaite-Matter* sebesar 99.85 %. Sehingga terdapat kesesuaian antara indeks kekeringan metode PDSI dan *Thornthwaite-Matter* dengan Indeks Osilasi Selatan (SOI) dari evaluasi ketelitian model yang telah dilakukan. Metode *Thornthwaite-Matter* memiliki presentase kesesuaian lebih baik dibandingkan dengan metode PDSI dengan nilai presentase kesesuaian sebesar 45,83% untuk metode *Thornthwaite-Matter* dan 29,17% metode PDSI. Kecenderungan periode bulan kering setiap tahunnya terjadi dari bulan Maret sampai dengan Desember. Dari hasil verifikasi keakuratan data antara indeks kekeringan metode PDSI dan *Thornthwaite-Matter* dengan data *history* BPBD

Provinsi NTB dari tahun 2010-2015 menunjukkan bahwa metode PDSI dan *Thornthwaite-Matter* cukup akurat dan bisa diterapkan di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat ditunjukkan dengan nilai rata-rata presentase kesesuaian BPBD- PDSI sebesar 81% dan BPBD-*Thornthwaite-Matter* sebesar 72%.

Banyak faktor yang memengaruhi tingkat kekeringan pada suatu wilayah. Faktor lain seperti suhu permukaan perairan Indonesia dan Samudera Pasifik dapat memberikan pengaruh dan hasil yang berbeda. Studi dengan faktor terkait lainnya perlu dilakukan untuk kemudian dapat dibandingkan dengan studi ini sehingga dapat memberikan gambaran lebih baik. Diharapkan pemerintah dapat mengambil langkah antisipasi yang tepat untuk menangani kejadian kekeringan dengan sebaik-baiknya. Diharapkan untuk studi selanjutnya agar bisa memahami karakteristik iklim di suatu wilayah dengan baik untuk menunjang dalam memahami analisa indeks kekeringan. Melihat korelasi yang rendah antara indeks kekeringan PDSI dan *Thornthwaite-Matter* dengan indeks osilasi selatan (SOI), untuk studi selanjutnya yang menggunakan acuan indeks osilasi selatan sebagai pembanding sebaiknya melihat luas daerah pengamatan terlebih dahulu. Indeks osilasi selatan cocok untuk daerah pengamatan yang luas.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2012. *Pedoman Tugas Akhir*. Mataram: Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Aziz, Abdul. 2013. *Indeks Kekeringan Di Kabupaten Nganjuk*. (Skripsi). Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Chow, V.T. 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. Mc Grow Hill Book Company, New York.
- Hardiani, Rr. Rintis. 2009. *Analisis Kekeringan Berdasarkan Data Hidrologi*. Disertasi, UNIBRAW, Malang.
- Hartato, Emir. 2009. *Gejala El Nino semakin Menguat*. Jakarta: Whatever I Said.
- Herdian, Andre. 2014. *Analisis Spasial Indeks Kekeringan Thornthwaite Matter di Wilayah Garut Jawa Barat*. Tugas Akhir S1 Institut Teknologi Bandung.
- Hounam, C.E.J.J, M.S Kalik, W.C Palmer and J. Rodda. 1975. *Drought and*

- Agricultural*. Technical Note. No. 138. WMO No. 329. Geneva
<http://www.mataramnews.com/Kekeringandilumbungpadi> di akses tanggal 1 februari 2016 pukul 10:28 WITA
- ILACO B.V. 1985. *Agricultural Compendium For Rural Development in the Tropics and Subtropics*. Elsevier Science Publishing Company TNC, Amsterdam.
- Kafindo, Anggun Nimaztian. 2015. *Analisa Kekeringan Menggunakan Metode Thornthwaite Matter Pada Sub- Sub DAS Keyang Kabupaten Ponorogo*. Skripsi. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Mujtahiddin, M lid. 2014. *Analisis Spasial Indeks Kekeringan Kabupaten Indramayu*. (Skripsi). Bandung: Stasiun Geofisika Bandung.
- National Drought Mitigation Center. 2006. *What is Drought? Understansing and Defining Drought*,
<http://drought.unl.edu/whatis/what.htm>
- Nugroho, Adi Prasetya. 2013. *Analisis Kekeringan Daerah Aliran Sungai Keduang Dengan Menggunakan Metode Palmer*. (Skripsi). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Nurjannah. 2015. *Penerapan Metode Palmer Drought Severity Index (PDSI) untuk Analisa Kekeringan Pada Sub-Sub DAS Slahung Kabupaten Ponorogo*. (Skripsi). Malang: Universitas Brawijaya.
- S.O.I. (Southern Oscillation Index) Archives, Australian Government Bureau of Meteorology.
<Http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2/html>.
- Smakhtin, V.U., dan Hughes. 2004. *Review, Automated Estimation and Analyses of Drought Indices in South Africa*. International Water Management Institute: Lembar Kerja 83.
- Sri Harto, B.R. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Suryanti, Ika. 2008. *Analisis Hubungan AntaraSebaran Kekeringan Menggunakan Indeks Kekeringan Palmer Dengan Karakteristik Kekeringan*. (Skripsi). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Thornthwaite, C.W. & J. R. Matter. (1957). *Instruction and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*, Publ. In *Clim*, X (3). Conterton. New Jersey.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmoko, D. 2012. *Penggunaan Metode Stndarlized Precipitation Index Untuk Idientifikasi Kekeringan Meteorologi di Wilayah Pantura Barat*. Tugas Akhir S1 Institut Teknologi Bandung.

Identifikasi Penyebaran Sumber Kabut Asap ke Wilayah Sumatera Barat bulan Agustus 2019

Dodi Saputra¹, Tanti Tritama Okaem¹, Rinaldi¹

¹Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat

Abstrak. Sebagian besar Pulau Sumatera termasuk diantaranya provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Barat pada bulan Agustus 2019 mengalami musim Kemarau. Kondisi ini dapat memicu terjadinya kebakaran hutan dan sebagian masyarakat memanfaatkan situasi ini untuk melakukan perluasan lahan dengan cara pembakaran. Kebakaran hutan menyebabkan peningkatan parameter *Particulate Matter* (PM₁₀) pada masing-masing provinsi. Dengan melihat pergerakan massa udara dengan metode Hysplit dan jumlah titik api menggunakan satelit Terra-Aqua BMKG, jumlah titik panas tertinggi pada provinsi Riau dengan nilai PM₁₀ tertinggi 220 mg/m³. Pergerakan massa udara yang dominan dari daerah terdampak kebakaran hutan memberikan dampak secara langsung ke wilayah provinsi Sumatera Barat dengan konsentrasi PM₁₀ mencapai level sedang.

Kata Kunci : *Particulate Matter* (PM₁₀), Kebakaran Hutan dan Lahan dan *Hysplit*.

Abstract. Most areas of Sumatra including Riau, Jambi and West Sumatra Province experienced dry season in August 2019. This condition can trigger forest fire and is often used by some people to expand the plantation area by creating fire. Forest fires caused an increase the parameters of the *Particulate Matter* (PM₁₀) in each province. The highest PM₁₀ concentration is 220 mg/m³ in Riau province, analysis using wind direction with Hysplit method and hotspots by *Terra-Aqua* BMKG satellite. The dominant of wind direction from areas affected by forest fires has a direct impact to West Sumatra province with PM₁₀ concentration on medium level.

Keywords : *Particulate Matter* (PM₁₀), expand the plantation and Hysplit

Pendahuluan

Kualitas udara di Asia Tenggara dipengaruhi oleh beberapa sumber emisi termasuk bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik, transportasi, industri, pembakaran biomassa dan emisi primer maupun sekunder dari sumber biogenic (Engling G, He J, Betha R, Balasubramanian R, 2014). Pembakaran biomassa merupakan sumber pencemaran udara yang signifikan terhadap dampak global, regional dan lokal yang berpengaruh pada kesehatan masyarakat dan perubahan iklim (Chen J, Li C, Ristovski Z, Milic A, Gu Y, Islam MS, 2016). Asap yang ditimbulkan dari pembakaran biomassa disebabkan oleh kebakaran hutan dan lahan gambut yang tidak terkendali. Hal tersebut terjadi secara rutin di berbagai wilayah Indonesia ketika hutan hujan tropis berubah fungsi menjadi lahan pertanian melalui penebangan hutan dan teknik bakar tebang.

Kebakaran hutan menjadi sumber emisi aerosol yang berasal dari hasil pembakaran biomassa yang dibawa oleh aliran massa udara. Emisi aerosol memiliki dampak yang sangat besar terhadap ekosistem, melalui deposisi asam dan efek lanjutannya terhadap pertanian dan kualitas udara (Chameides et al, 1999). Kebakaran lahan yang terjadi menjadi salah satu ancaman terbesar bagi konservasi lahan basah dan menambah jumlah kerusakan hutan yang turut terbakar. Kebakaran ini juga menyebabkan timbulnya masalah gangguan akibat asap, kesehatan, dan jarak pandang hingga mencapai negara tetangga, sehingga hal ini menjadi bencana nasional (Krisanti, A, Lestari P, 2011)

Menurut BAPPENAS (2019) dalam Tacconi (2003) bahwa kebakaran hutan gambut merupakan penyumbang pencemaran kabut asap yang terbesar di Indonesia. Tahun 1997/1998, kebakaran hutan gambut mungkin menghasilkan 60-90% emisi yang menyebabkan

kabut asap. Kebakaran hutan ini juga merupakan sumber utama emisi Karbon Dioksida (Tacconi, Luca, 2003)

Memasuki musim kemarau Indonesia sering dihadapkan dengan masalah kebakaran hutan dan lahan, tidak luput pada bulan Agustus tahun 2019 sebagian wilayah di Indonesia mengalami musim kemarau salah satunya provinsi Riau dan Jambi, daerah ini rentan terhadap kebakaran hutan dan lahan. Pembakaran hutan dan lahan dengan cara membakar dan penebangan liar dapat menghasilkan kabut asap dan zat berbahaya, seperti PM_{10} , CO, NO_x dan SO_2 . Zat ini berbahaya dan mengganggu kesehatan manusia antara lain memicu ISPA, asma, iritasi kulit, iritasi mata dan paru-paru (Wahyuni, Dwi, 2011)

PM_{10}

Particulate Matter (PM) atmosfer secara umum didefinisikan sebagai campuran partikel padat maupun cair yang terdapat di udara. PM atmosfer dihasilkan dari berbagai macam sumber yang memengaruhi ukuran fisiknya (ukuran, luas permukaan, densitas), komposisi kimia, dan distribusi ukuran (Perrino, Cinzia, 2010). Menurut pendapat lain, PM_{10} adalah partikulat padat dan cair yang melayang di udara dengan nilai media ukuran diameter aerodinamik 10 mikron (Lindawaty, 2010).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, baku mutu udara ambien nasional untuk PM_{10} adalah 150 $\mu g/m^3$ per hari. Baku mutu udara ambien nasional ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999)

Model Hysplit

Model HYSPLIT_4 (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) merupakan sebuah sistem yang lengkap untuk menghitung simulasi gerak trayektori, dispersi dan deposisi dengan menggunakan pendekatan gerak partikel atau hembusan. Model ini dilengkapi oleh beberapa modul struktur yang terdiri dari program utama untuk setiap aplikasi primer seperti trayektori dan konsentrasi udara (Draxler, R.R. dan G.D. Hes, 1998 dan 2014). Model ini menggunakan masukan data meteorologi untuk pergerakan lintasan dan konsentrasi polutan. Data meteorologi yang dibutuhkan untuk perhitungan, dapat diambil melalui data arsip yang telah tersedia atau dari model luaran prakiraan yang sudah diformat ke dalam HYSPLIT (BMKG, 2012).

Aplikasi HYSPLIT meliputi tracking dan forecasting pelepasan bahan polutan, lintasan

polutan di udara, abu vulkanik, dan asap kebakaran hutan dan lahan. Model ini secara operasional digunakan oleh NOAA melalui lembaga seperti NCEP dan NWS (Heriyanto, Eko dan Wido Hanggoro, 2014). NOAA menggunakan model HYSPLIT untuk aplikasi penelitian dan juga sebagai respon atas kejadian darurat yang membutuhkan model lintasan dan dispersi dari polutan berbahaya yang terlepas ke atmosfer (NOAA, 2013).

Berdasarkan latar belakang tersebut sangat perlu dilakukan analisis terhadap konsentrasi udara ambient untuk parameter PM_{10} pada saat terjadi kabut asap di provinsi Riau dan Jambi. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak kabut asap tersebut bagi lingkungan dan manusia, mengetahui sumber dan arah penjarangan kabut asap sehingga diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pengambil kebijakan dalam melakukan antisipasi terhadap bencana kabut asap yang setiap tahun terjadi di provinsi Riau dan Jambi.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan di daerah terdampak kabut asap yaitu Provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Barat. Rentang waktu yang digunakan dari tanggal 1 s/d 31 Agustus 2019.

Data yang digunakan untuk analisis adalah data konsentrasi PM_{10} Stasiun Meteorologi Pekanbaru, Riau, data PM_{10} Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang dan data Sampling di provinsi Jambi.

Stasiun Meteorologi Pekanbaru Riau mengukur konsentrasi PM_{10} dengan menggunakan alat *PM_{10} Monitoring Thermoscientific tipe 5014i*, alat tersebut mampu mengukur dan memonitor konsentrasi ambien aerosol PM_{10} di atmosfer dengan akurat setiap menit secara *real time*, data yang dikeluarkan oleh alat ini setiap 10 menit. Pengukuran didasarkan pada prinsip hamburan cahaya aerosol (*Nephelometer*) dan redaman beta untuk mengukur secara tepat dan akurat konsentrasi ambien dari aerosol di udara (Thermo Fisher Scientific, Inc., 2013).

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang mengukur konsentrasi PM_{10} dengan menggunakan alat *PM_{10} Monitoring BAM 1020* alat tersebut mengukur dan memonitor konsentrasi ambien aerosol PM_{10} di atmosfer dengan keluaran data dengan selang waktu 1 jam. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip pelemahan partikel beta yang melalui materi

padatan yang dikumpulkan dalam pita filter yang terbuat dari fiber, materi padatan yang terkumpul dalam filter fiber tidak lain adalah PM_{10} dalam satu volume udara ambien yang dihisap oleh pompa (Manual. Met One Instrument, Inc . 2016).

Stasiun Klimatologi Jambi memiliki instrumen PM_{10} dengan merk *Thermo Model 15001* dengan mengeluarkan data setiap 10 menit, namun instrumen pengamatan PM_{10} ini mengalami kerusakan sehingga dalam tulisan ini penulis tidak dapat menampilkan data PM_{10} tersebut. Konsentrasi PM_{10} yang digunakan sebagai pembanding yaitu menggunakan data pengamatan sampling PM_{10} dengan menggunakan alat PM_{10} *Portable EPAM 5000* (SKC Environmental Particulate Air Monitor, 1999). Alat EPAM 5000 ini dapat mengukur konsentrasi aerosol dengan ukuran 1.0 μm , 2.5 μm , 10 μm dan 100 μm . pengukuran dan monitoring dilakukan pada tanggal 14 Agustus 2019 selama 2 jam dengan rentang data setiap 5 menit. Lokasi pengukuran PM_{10} ini dilakukan di wilayah Candi Muara Jambi yang terletak kearah Timur Kota Jambi.

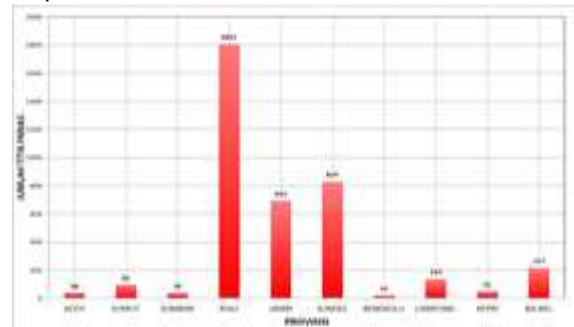
Selain konsentrasi PM_{10} data yang digunakan adalah data pergerakan massa udara dengan menggunakan model *Hysplit*, jumlah titik api (hotspot) di Pulau Sumatera diantaranya provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Barat yang diambil dari data *hotspot* menggunakan satelit *Terra-Aqua* yang diperoleh dari Sub Bidang Citra Satelit BMKG (BMKG, 2019).

Pengukuran konsentrasi PM_{10} yang terukur di Pekanbaru dan Jambi dibandingkan dengan konsentrasi PM_{10} di SPAG Bukitkoto Tabang untuk melihat ada atau tidaknya peningkatan konsentrasi nilai PM_{10} yang terpantau di SPAG saat terjadi kebakaran hutan dan lahan di wilayah provinsi Riau dan Jambi. Selanjutnya dilihat pola pergerakan massa udara disaat terjadi kebakaran hutan dan lahan untuk provinsi Riau dan Jambi.

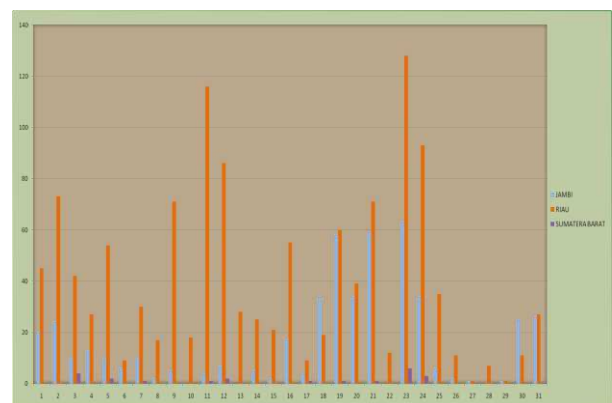
Hasil dan Pembahasan

Perbedaan kebakaran lahan dengan kebakaran vegetasi adalah kebakaran lahan disebabkan oleh terbakaranya tanah gambut yang merupakan tanah yang tersusun dari bagian bagian pohon yang sudah lapuk atau sudah mati yang ditimbun menggunakan alat berat sehingga dapat menjadi tanah yang banyak sekali ditemukan di Provinsi Riau.

Berdasarkan data yang diperoleh dari satelit *Terra-Aqua* BMKG dengan tingkat kepercayaan > 80 %. Jumlah titik panas tertinggi berasal dari Riau, Jambi dan Sumatera Selatan, sedangkan untuk Sumatera Barat masih sedikit jumlah hotspot pada bulan Agustus 2019. Untuk ketiga Provinsi tetangga tersebut kondisi seperti ini akan terus meningkat hingga bulan September dan November.

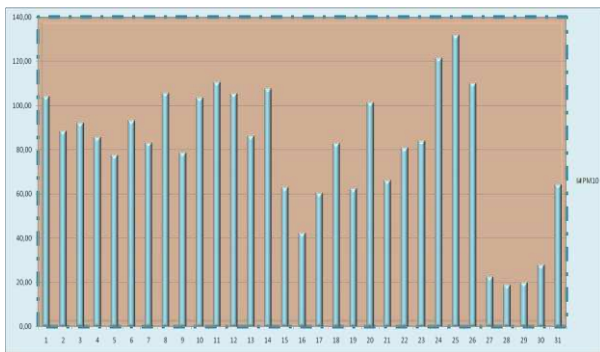


Grafik 1. Jumlah titik Panas Agustus 2019 di Pulau Sumatera



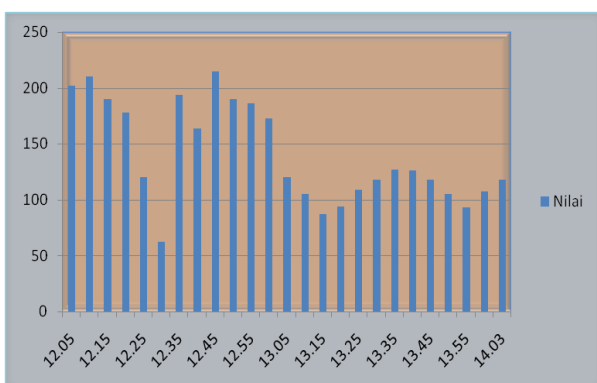
Grafik 2. Jumlah titik Panas Agustus 2019 di Pulau Sumatera

Jumlah hotspot harian pada bulan Agustus 2019 untuk wilayah Provinsi Riau dan Jambi cukup tinggi terlihat pada Grafik 2, di mana untuk Provinsi Jambi terdapat sebanyak 692 titik api, Provinsi Sumatera Selatan sebanyak 829 titik api, sedangkan untuk Provinsi Riau merupakan jumlah titik api terbanyak yang terdapat di Pulau Sumatera pada bulan Agustus dengan jumlah 1807 titik api.



Grafik 3. Konsentrasi PM₁₀ Stasiun Meteorologi Pekanbaru Agustus 2019

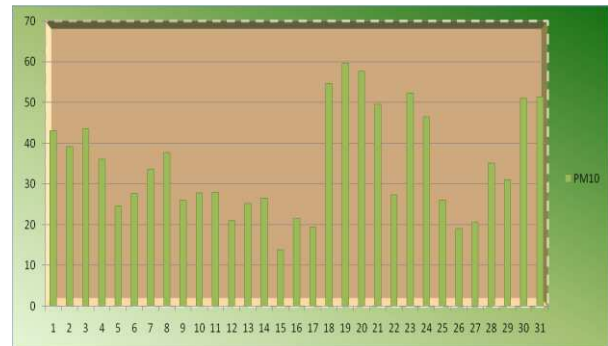
Grafik 3 di atas terlihat bahwa pada bulan Agustus 2019 untuk daerah Pekanbaru nilai konsentrasi PM₁₀ rata-rata berada pada kategori baik hingga sedang yaitu berkisar di atas 50 mikrogram/m³, hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya jumlah titik api yang terdapat di wilayah Provinsi Riau. Dari data badan Nasional Penanggulangan Bencana tercatat Hingga Agustus 2019 luas lahan terbakar terbanyak ada di Provinsi Riau mencapai 49.266 Hektare.



Grafik 4. Konsentrasi PM₁₀ Sampling di Candi Muara Jambi Agustus 2019

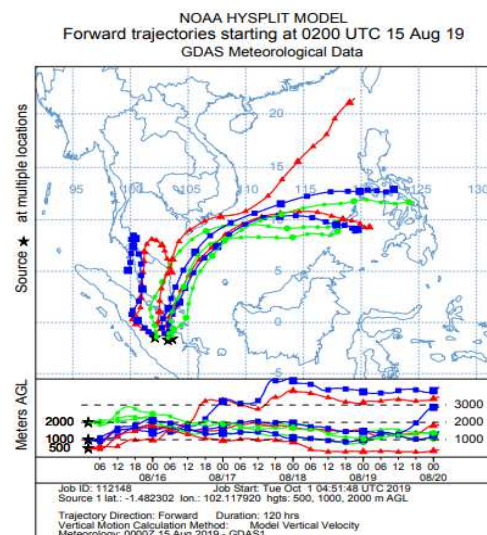
Bulan Agustus 2019 Instrumen pengukuran Pm₁₀ yang ada di Stasiun Klimatologi Jambi sedang dalam perbaikan, untuk mewakili data yang ada di Provinsi Jambi dilakukanlah pengukuran sampling selama dua jam.

data Konsentrasi PM₁₀ Provinsi Jambi diambil Dari hasil sampling selama 2 jam, di mana dapatkan nilai konsentrasi PM₁₀ untuk wilayah Candi muara Jambi berada dalam kategori sedang hingga tidak sehat dengan konsentrasi berkisar di atas 50 s/d 220 mikrogram/m³. Tempat ini diambil sebagai sampel mengingat lokasi ini banyak dikunjungi oleh wisatawan dan juga letaknya tidak terlalu jauh dari kota Jambi.

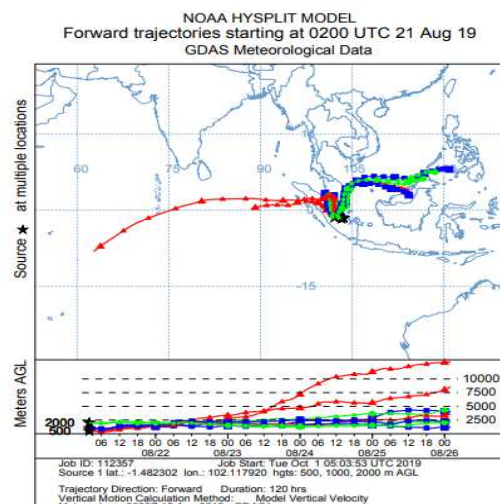


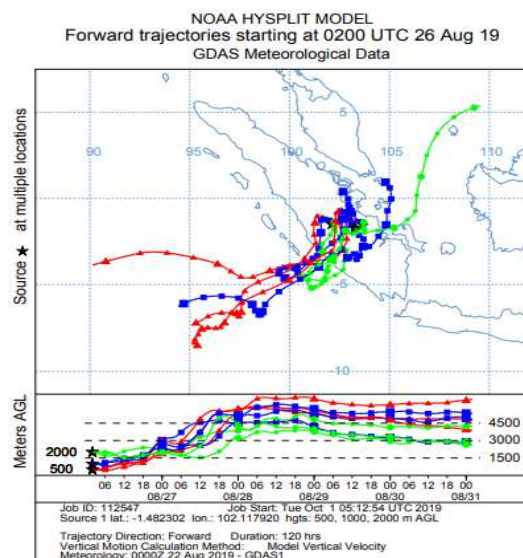
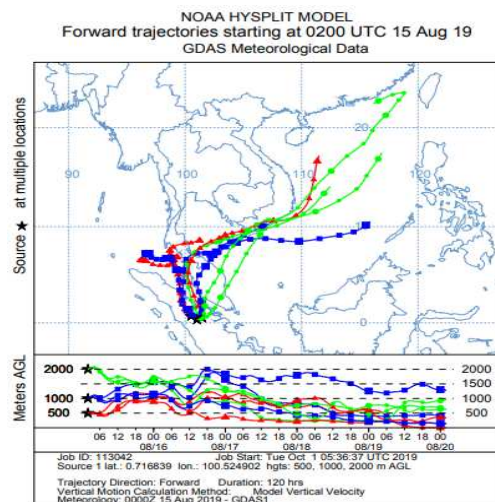
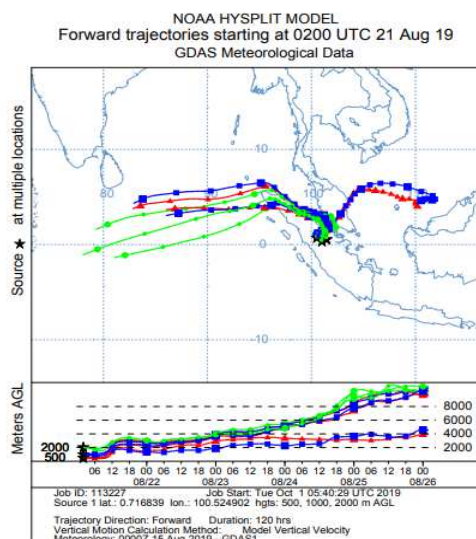
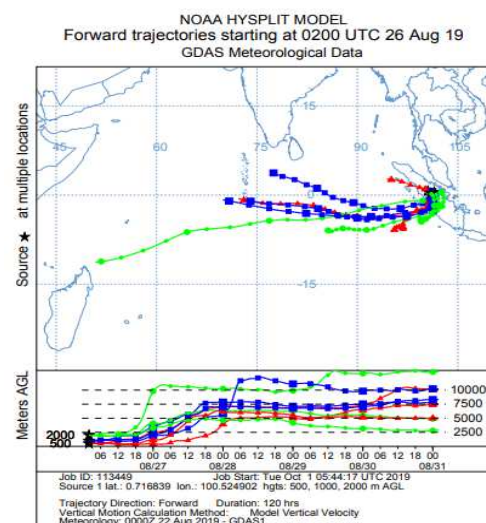
Grafik 5. Konsentrasi PM₁₀ SPAG Bukit Kototabang Agustus 2019

Grafik 5 menunjukkan konsentrasi PM₁₀ di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang (SPAG) berada dalam kondisi Baik hingga Sedang. Menjelang akhir dasarian II dan III Agustus 2019 terjadi peningkatan nilai konsentrasi PM₁₀ di SPAG di mana nilai tersebut mencapai 60 mikrogram/m³.



Gambar 1. Pergerakan Massa Udara 15-20 Agustus 2019 Provinsi Jambi



Gambar 2. Pergerakan Massa Udara 21-25 Agustus 2019 Provinsi Jambi**Gambar 3. Pergerakan Massa Udara 26-31 Agustus 2019 Provinsi Jambi****Gambar 4. Pergerakan Massa Udara 15-20 Agustus 2019 Provinsi Riau****Gambar 5. Pergerakan Massa Udara 21-25 Agustus 2019 Provinsi Riau****Gambar 6. Pergerakan Massa Udara 26-31 Agustus 2019 Provinsi Riau**

Konsentrasi polutan banyak dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin, kecepatan angin berfungsi untuk mengencerkan polutan dan dispersi polutan dari sumber emisi, arah angin berfungsi untuk melihat arah sebaran polutan di permukaan bumi. Pada kecepatan angin rendah polutan cenderung menumpuk di dekat sumber dan akan berkurang jika kecepatan angin bertambah.

Gambar 1 sampai sampai gambar 6 menunjukkan pergerakan massa udara untuk dua provinsi Riau dan Jambi, di mana setiap provinsi diambil tiga level ketinggian yaitu, 500m, 1000m dan 2000m dan tiga titik yang berbeda tiap provinsi, untuk Provinsi Jambi (Muaro Bungo, Muaro Bulian, Kota Jambi) sedangkan untuk Provinsi Riau (Pasir Pangaraian, Bangkinang, Pekanbaru).

Untuk Provinsi Jambi pada tanggal 15 sampai dengan 20 terlihat dengan level ketinggian 500 dan 1000 meter adanya pergerakan massa udara yang bergerak dari arah Muaro Bungo ke wilayah Dhamasraya dan Sijunjung, Solok, Tanah Datar, Agam, Bukittinggi. Begitu juga dengan tanggal 21 sampai tanggal 25 terdapat kembali pergerakan massa udara yang bergerak dari Muaro Bungo dan Muaro Bulian ke Wilayah Dhamasraya dan Sijunjung, Solok, Tanah Datar, Agam, Bukittinggi, hal ini terlihat juga dengan terjadinya peningkatan nilai parameter PM 10 yang ada di bukit Kototabang hingga mencapai kategori Sedang. Sedangkan untuk tanggal 26 sampai 31 Agustus Massa Udara bergerak dominan melalui

Dhamasraya, Sijunjung dan sebagian besar wilayah ada di Sumatera Barat.

Untuk Provinsi Riau pada tanggal 15 sampai 20 massa udara bergerak dominan ke arah Utara dan Timur Laut, sedangkan tanggal 21 sampai 25 massa udara dominan ke arah Timut dan Barat Laut, untuk tanggal 26 Sampai 31 Agustus terlihat pergerakan massa udara yang menuju ke wilayah Sumatera Barat seperti Lima Puluh Kota, Payakumbuh dan Bukittinggi, Agam, pergerakan massa udara ini terlihat juga dengan adanya peningkatan nilai PM 10 yang ada dibukit Kototabang berada dalam kategori Sedang.

Dari model hysplit yang digunakan dapat terlihat bahwa pola pergerakan massa udara sangat berpegaruh terhadap peningkatan jumlah polutan untuk wilayah yang berbatas langsung dengan sumber polutan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan untuk wilayah Sumatera Barat, terdapat pengaruh atau dampak yang diakibatkan oleh terjadinya kebakaran hutan dan lahan pada provinsi Riau dan Jambi. Terutama untuk wilayah yang berbatasan langsung dengan kedua provinsi tersebut seperti Kabupaten Dhamasraya, Kabupaten Sijunjung dan Kabupaten Sawahlunto daerah ini berbatasan langsung dengan provinsi Jambi, dan juga untuk Kabupaten 50 Kota, Payakumbuh juga berbatasan langsung dengan provinsi Riau. Pola pergerakan massa udara sangat berperan dalam membawa partikel dari provinsi Riau dan Jambi, di mana apabila massa udara bergerak dari arah tenggara maka akan membawa partikel sisa kebakaran hutan dan lahan dari provinsi Jambi ke provinsi Sumatera barat, begitu juga dengan provinsi Riau, apabila massa udara bergerak dari arah Timur maka akan berdampak untuk provinsi Sumatera Barat.

Daftar Pustaka

- Bappenas. 2019. <https://www.bappenas.go.id/id/>. Diakses 14 September 2019
- BMKG, 2012. Panduan Penggunaan Model HYSPLIT_4. Kegiatan Penguatan Kapasitas Operasional Kualitas Udara 2012, Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara BMKG, Jakarta
- BMKG. 2019. <https://www.bmkg.go.id/cuaca/kebakaran-hutan.bmkg?u=4>. Diakses 23 September 2019
- Chameides et al., (1999). Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: An opportunity to enhance crop yields in China through emission controls?. PNAS. Vol.96 no.24; 13626-13633; November 23 1999
- Chen J, Li C, Ristovski Z, Milic A, Gu Y, Islam MS, et al. A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China. Sci. Total Environ. Elsevier B.V 2017;579(November 2016):1000–34
- Draxler, R.R. dan G.D. Hes, 1998. An Overview of the HYSPLIT_4 Modelling System for Trajectories, Dispersion, and Deposition, Revised 1998. Australian Meteorological Magazine, Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.
- Draxler, R.R. dan G.D. Hes, 2014. Description Of The HYSPLIT_4 Modelling System, Revised 2014. NOAA Air Research Laboratory, Silver Spring, Maryland.
- Engling G, He J, Betha R, Balasubramanian R. Assessing the regional impact of Indonesian biomass burning emissions based on organic molecular tracers and chemical mass balance modeling. Atmos Chem Phys. 2014;14(15):8043–54
- Heriyanto, Eko dan Wido Hanggoro, 2014. Perbandingan Luaran WRF-EMS Dan GDAS Untuk Simulasi Sebaran Asap Kebakaran Hutan Menggunakan Model HYSPLIT. Prosiding Seminar Sains Atmosfer 2014, LAPAN, Bandung.
- Indonesia : Penyebab, Biaya dan Implikasi Kebijakan. Center for International Forestry Research (CIFOR) Occasional No. 38(i). CIFOR, Bogor.
- Krisanti, A; Lestari P. (2011). Pengukuran Konsentrasi Pm10 Dan Black Carbon Yang Dihasilkan Oleh Asap Kebakaran Lahan Gambut Dan Hutan Di Desa Pekanheran, Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau. Jurnal Teknik Lingkungan Volume 17 Nomor 1, April 2011(Hal100-111)
- Manual. Met One Instrument, Inc . 2016. BAM 1020 Particulate Monitor Operation Manual. Met One Instrument, Inc, Rev N.
- Lindawaty, 2010. Partikulat (PM10) Udara Rumah Tinggal Yang Mempengaruhi Kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada Balita (Penelitian Di Kecamatan Mampang Prapatan, Jakarta Selatan Tahun 2009-2010). Tesis Prodi Magister Kesehatan masyarakat. Universitas Indonesia, Depok.
- Manual. Met One Instrument, Inc . 2016. BAM 1020 Particulate Monitor Operation Manual. Met One Instrument, Inc, Rev N.
- NOAA. 2013. HYSPLIT Summary Handout, http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php diakses tanggal 10 September 2019.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tanggal : 26 mei 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Jakarta
- Perrino, Cinzia, 2010. Atmospheric Particulate Matter. Proceedings of a C.I.S.B. Minisymposium. C.N.R. Institute of Atmospheric Pollution, Roma, Italia.
- SKC Environmental Particulate Air Monitor. 1999. Model SKC EPAM-5000 HD50706. SKC Inc. 863 Valley View Road Eighty Four, PA 15330
- Tacconi, Luca, 2003. Kebakaran Hutan di Indonesia : Penyebab, Biaya dan Implikasi Kebijakan. Center for International Forestry Research (CIFOR) Occasional No. 38(i). CIFOR, Bogor
- Thermo Fisher Scientific, Inc., 2013. Model 5030 SHARP Monitor Instruction Manual, Thermo Fisher Scientific, Inc, 27 Forge Parkway, Franklin.
- Wahyuni, Dwi, 2011. Permasalahan Kabut Asap Dalam Hubungan Indonesia dan Malaysia. Skripsi. Prodi Hubungan Internasional. UIN, Jakarta.

Energi Potensial Gempabumi di kawasan Segmen Musi, Kepahiang-Bengkulu

Sabar Ardiansyah¹, Malik Krisbudianto¹

¹Stasiun Geofisika Kepahiang - Bengkulu

Abstrak. Segmen Musi Kepahiang merupakan salah satu kawasan seismik aktif. Beberapa gempabumi signifikan yang mengakibatkan kerusakan dan korban jiwa pernah terjadi di kawasan ini. Tujuan dari penulisan paper ini adalah untuk mengetahui nilai energi potensial yang terkandung di kawasan Segmen Musi melalui kajian statistik sejak terakhir kali terjadi gempabumi besar tanggal 15 Mei 1997. Data sekunder yang digunakan dalam penulisan paper ini adalah data katalog gempabumi hasil analisa Stasiun Geofisika Kepahiang dan database WinITDB. Metode yang digunakan untuk menghitung periode ulang, energi yang dilepaskan tiap tahun, energi simpan serta energi potensial dengan menggunakan metode least square. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa kawasan Segmen Musi menyimpan energi potensial gempabumi yang belum dilepaskan sejak terjadi gempabumi 15 Mei 1997 adalah sebesar $5,0187 \times 10^{21}$ erg. Energi ini setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 6,6$.

Abstract. *The Musi Segment is one of the seismic active region. Many large earthquakes that cause damage and casualties occurred in this region. The purpose of this paper is to determine the value of the potential energy contained in the Musi Segment through the statistic study since the large earthquake occurred on 1997. Secondary data were used in writing this paper is the data captured through the earthquake catalogs the Kepahiang Geophysical Station and WinITDB database. The method used to calculate the return period, the energy released each year, save energy, and potential energy using the least square method. Based on the analysis, the Musi Segment earthquake save potential energy that has not been released since the 15 Mei 1997 earthquake amounted to $5,0187 \times 10^{21}$ erg. This energy is equivalent to an earthquake measuring $M = 6,6$.*

Keywords: Earthquake, Off energy, expectations energy, potential energy

Pendahuluan

Wilayah Bengkulu merupakan salah satu kawasan “langganan” terjadi gempabumi. Baik gempabumi zona subduksi maupun gempabumi pada segmen sesar lokal sering terjadi di kawasan Bengkulu. Pada zona sesar lokal, khususnya Segmen Musi yang terletak di Kabupaten Kepahiang banyak gempabumi signifikan yang terjadi di kawasan ini. Salah satu gempabumi merusak yang pernah terjadi pada Segmen Musi adalah gempabumi tanggal 15 Desember 1979 dengan kekuatan $M=6.0$ terletak pada koordinat 3.5 LS, 102.4 BT dengan kedalaman 25 km. Gempabumi yang berpusat di sekitar Desa Daspetah ini berjarak hanya berkisar 8-10 km dari pusat kota Kepahiang. Gempabumi ini memiliki intensitas VIII-IX MMI sehingga mengakibatkan setidaknya 3.600 bangunan rusak berat dan ringan serta korban jiwa sebanyak 4 (empat) orang. Gempabumi terjadi karena pergerakan sesar aktif Sumatera di Segmen antara Daspetah dan Kepahiang [1]. Gempabumi merusak lainnya yang pernah terjadi di wilayah Kabupaten Kepahiang ini adalah gempabumi pada tanggal 15 Mei 1997 dengan kekuatan $M=5.0$ yang mengakibatkan setidaknya 65 bangunan rusak berat dan ringan. Setelah terjadi gempabumi tanggal 15 Mei 1997 ini, hingga saat ini belum ada gempabumi dengan magnitudo $M > 5,0$. Artinya ada penyimpanan energi yang diperkirakan cukup besar pada Segmen Musi ini. Energi gempabumi di suatu wilayah bisa kita bagi menjadi dua macam, yaitu energi gempabumi yang dilepaskan setiap tahun dan energi yang disimpan (energi ekspektasi) [2]. Energi ekspektasi di kawasan Segmen Musi menarik untuk dilakukan perhitungan karena energi potensial ini suatu-waktu bisa dilepaskan dalam bentuk gempabumi berkekuatan besar. Melalui paper ini, penulis mencoba mengkalkulasi berapa besar energi potensial yang tersimpan pada kawasan Segmen Musi melalui kajian statistik.

Tatanan Tektonik Daerah Kajian

Pulau Sumatera merupakan bagian dari Lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke arah barat daya dan berinteraksi dengan Lempeng Hindia-Australia yang terletak di sebelah barat Pulau Sumatera yang bergerak relatif ke arah utara dengan kecepatan sekitar 6 cm/tahun. Zona pertemuan antara kedua lempeng tersebut membentuk zona subduksi. Berdasarkan analisis mekanisme sumber (focal mechanism) kemiringan subduksinya antara 10° sampai 10° dengan dip dominan di bagian barat wilayah Sumatera sekitar 20° [3]. Katili (1973) dalam Pranata [4] dalam penelitiannya menyebutkan bahwa sistem busur subduksi Sumatera dibentuk oleh penyusupan lempeng samudera di bawah lempeng benua. Lempeng benua tebal dan tua ini meliputi busur vulkanik, kapur, dan tersier. Sedimen elastik sangat tebal menyusup di subduksi Sumatera dan sedimen yang tebal didorong ke atas membentuk rangkaian kepulauan. Jalur subduksi ini membujur sepanjang pantai barat Sumatera, tidak terkecuali pantai barat Bengkulu. Di samping itu, akibat tumbukan lempeng juga terbentuk patahan-patahan di Pulau Sumatera. Patahan di Sumatera memanjang dari Aceh hingga teluk Semangko, Provinsi Lampung yang dikenal dengan nama Sesar Besar Sumatera. Di Provinsi Bengkulu segmen Sesar Sumatera ini antara lain : Segmen Manna yang terletak di Kabupaten Bengkulu Selatan, Segmen Musi yang terletak di Kabupaten Kepahiang, dan Segmen Ketahun terletak di Kabupaten Bengkulu Utara. Masing-masing segmen memiliki panjang 85 km untuk Segmen Manna, 70 km untuk Segmen Musi, dan 85 km untuk Segmen Ketahun. Tiga segmen ini memiliki slip rate rata-rata pertahun 1,0 cm. Dengan demikian dalam 100 tahun slip rate mencapai 10 cm serta 20 cm dalam 200 tahun. Secara teoritis, moment seismik (M_0) masing-masing segmen adalah $6,75 \times 10^{25}$ untuk periode 100 tahun. Artinya dalam satu dekade segmen patahan semangko di Bengkulu memiliki potensi gempabumi berkekuatan 7,2 Mw. Dengan catatan asumsi yang dipakai adalah segmen ini terkunci 100%. Namun, dalam kenyataan sehari-hari segmen ini tentu tidak terkunci 100%, artinya masih melepaskan energi, baik dalam bentuk gempabumi kecil maupun dalam bentuk rayapan tanah (creeping) (Natawidjaja, 2007) [5].

Magnitudo dan Energi Gempabumi

Bentuk energi yang dilepaskan saat terjadinya gempabumi antara lain adalah energi deformasi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadinya gempabumi seperti misalnya tanah naik, tanah turun, pergeseran batuan dan lain-lain.

Sedangkan energi gelombang akan menggetarkan medium elastik disekitarnya dan akan menjalar ke segala arah. Pancaran energi gempabumi dapat besar ataupun kecil bergantung dari karakteristik batuan yang ada dan besarnya stress yang dikandung oleh suatu batuan pada suatu daerah. Pada daerah yang memiliki batuan rapuh (heterogen), tekanan yang dikandung tidak besar karena langsung dilepaskan melalui gempabumigempabumi kecil yang frekuensinya tinggi. Sedangkan untuk daerah dengan kondisi batuan yang kuat (homogen), gempabumi kecil jarang terjadi sehingga tekanan yang dikandung sangat besar. Tetapi pada akhirnya akan terjadi gempabumi dengan magnitudo yang relatif besar. Melalui hubungan empiris magnitudo-energi, energi seismik E_s yang diradiasikan oleh sumber gempabumi sebagai gelombang seismik dapat diestimasi. Hubungan ini diberikan oleh Gutenberg et al. (1954-1956) dalam Gunawan, 2010 [6] antara E dan magnitudo gelombang permukaan M_s dan magnitudo gelombang badan m_B yaitu :

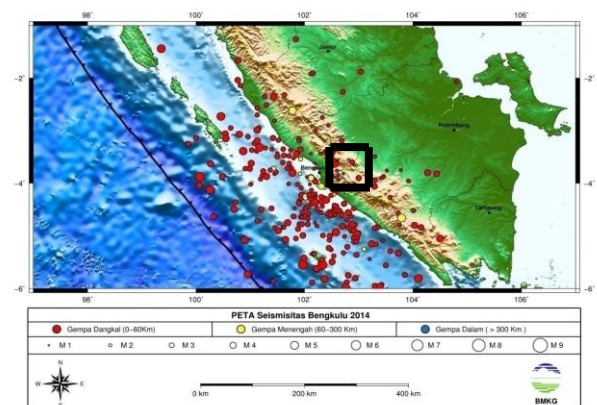
$$\log E = 5,8 + 2,4m_B \quad (1)$$

$$\log E = 11,8 + 1,5M_s \quad (2)$$

Dengan E adalah energi yang dilepaskan gempabumi dalam satuan erg ($1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$), M_b magnitudo gelombang badan, dan M_s adalah magnitudo gelombang permukaan.

Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penulisan paper ini adalah data sekunder yang diambil dari hasil analisa Stasiun Geofisika Kepahiang dan database WiniTDB rentang tahun 1971- 2014. Wilayah penelitian adalah daerah Segmen Musi Kepahiang-Bengkulu dengan batasan wilayah -2.5 LS, -3.5 LS dan 102.5 BT, 104 BT seperti tampak pada Gambar 1 di bawah ini :



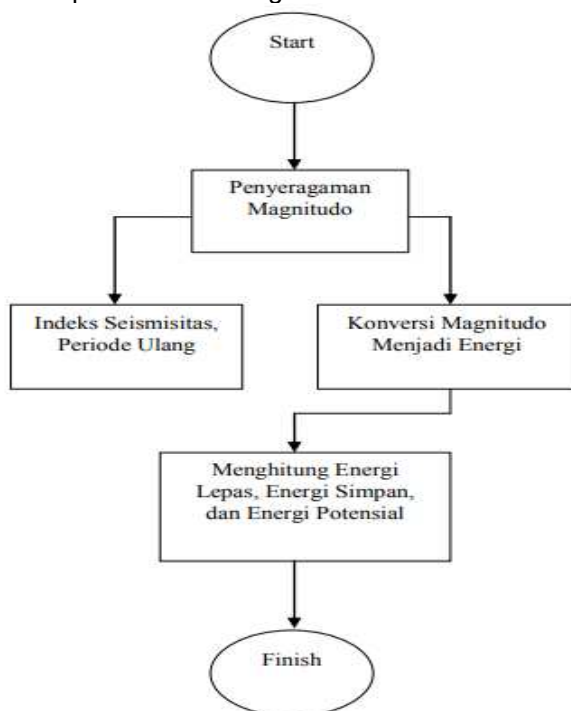
Gambar 1. Peta wilayah kajian (kotak hitam) dan peta sebaran gempabumi wilayah Bengkulu dan sekitarnya tahun 2014.

Perhitungan indeks seismisitas, periode ulang, energi gempabumi yang dilepaskan, dan energi yang disimpan menggunakan metode least square. Energi lepas pertahun dapat kita tentukan dengan membuat persamaan linier $Y = A + E1 X$, di mana Y adalah energi gempabumi kumulatif, A adalah konstanta persamaan linier, $E1$ adalah jumlah energi lepas gempabumi per tahun, dan X adalah selang waktu dalam tahun di mana tahun ke-1 dimulai dari tahun 1971.

$$E_1 = \frac{n \sum (X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (3)$$

Untuk menghitung energi ekspektasi total, kita menggunakan gempabumi terbesar yang terakhir yang pernah terjadi di zona penelitian yaitu gempabumi pada tanggal 15 Desember 1979 dengan magnitudo $M=6,0$ terletak pada koordinat 3.5 LS, 102.4 BT dengan kedalaman 25 km. Magnitudo gempa ini selanjutnya dikonversi menjadi energi. Energi inilah yang kita anggap sebagai energi ekspektasi total dalam kurun waktu periode ulang gempa $M > 6,0$. Dengan cara membagi energi ekspektasi total dengan periode ulang, maka didapat energi ekspektasi per tahun ($E2$). Dari energi yang dilepas pertahun dan energi ekspektasi pertahun yang didapat di atas, maka energi total pertahun yang dihasilkan pada Segmen Musi sama dengan penjumlahan kedua energi tersebut yaitu $E_{tot} = E1 + E2$.

Diagram 1. Alur pengolahan data untuk mendapatkan nilai energi.

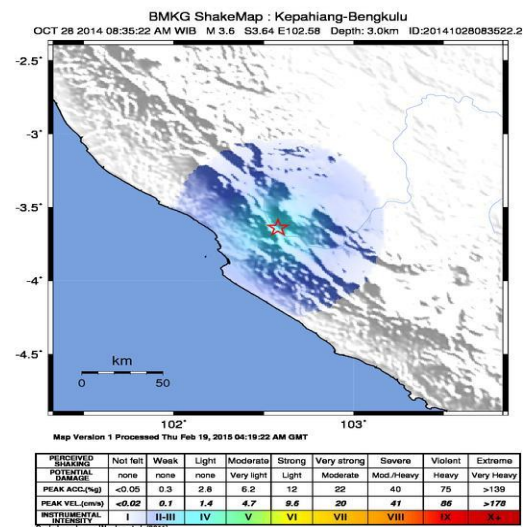


Hasil dan Pembahasan

Dari hasil analisis gempabumi tahun 1971-2014 didapat nilai $a = 2,60555345$ dan nilai $b = -0,3831633$. Dari nilai a -value dan b -value tersebut, daerah Segmen Musi memiliki indeks seismisitas sebesar 0.05339 serta mempunyai periode ulang gempabumi dengan magnitudo $M > 6,0$ rata-rata setiap 19 tahun sekali. Sedangkan dari hasil analisis gempabumi tahun 1971 hingga 2014 daerah Segmen Musi melepaskan energi gempabumi sebesar $1,99349 \times 1020$ erg pertahun atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 5,7$. Berdasarkan gempabumi besar tanggal 15 Desember 1979 dengan $M = 6,0$ dan periode ulang setiap 19 tahun sekali menunjukkan bahwa setiap tahun daerah Segmen Musi menyimpan energi gempabumi sebesar $1,32205 \times 1020$ erg atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 5,5$. Dari hasil energi lepas dan energi simpan tersebut, diketahui bahwa daerah Segmen Musi setiap tahun menghasilkan energi gempabumi total sebesar $3,31553 \times 1020$ erg atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 5,8$. Nilai a yang relatif besar berkorelasi dengan aktivitas seismik yang tinggi untuk kawasan zona gempabumi darat terutama gempabumi-gempabumi ringan. Sedangkan nilai b -value yang relatif rendah mengindikasikan bahwa kondisi batuan daerah Segmen Musi secara umum solid (homogen) dan tidak mudah pecah namun menyimpan energi gempabumi yang cukup besar. Dari perhitungan energi lepas dan energi simpan setiap tahun dapat diketahui bahwa antara kedua energi ini hampir berimbang. Energi ekspektasi per tahun yang cukup besar ini jauh lebih berbahaya daripada energi lepas yang dihasilkan per tahun. Walaupun energi ekspektasi diakumulasi dan dilepas dalam jangka waktu yang relatif lama, namun jika dilepaskan akan menghasilkan efek yang bisa mengakibatkan kerusakan karena akan menghasilkan Start Penyeragaman Magnitudo Konversi Magnitudo Menjadi Energi Indeks Seismisitas, Periode Ulang Menghitung Energi Lepas, Energi Simpan, dan Energi Potensial Finish gempabumi yang bermagnitudo besar. Berbeda dengan energi lepas yang dilepas sepanjang tahun, walaupun frekuensi gempabumi yang dihasilkan tinggi, namun tidak terlalu mengakibatkan kerusakan karena gempabumi yang dihasilkan adalah gempabumi dengan magnitudo kecil hingga ringan. Setelah terjadi

gempabumi tanggal 15 Mei 1997 dengan kekuatan $M = 5.0$, sampai saat ini belum ada gempabumi berkekuatan $M > 5.0$ yang terjadi di kawasan Segmen Musi. Ini berarti kurang lebih hampir 17 tahun terdapat penyimpanan energi ekspektasi yang belum dilepaskan. Dari hasil analisis perhitungan energi yang telah dilepaskan mulai tanggal 16 Mei 1997 hingga 31 Desember 2014, daerah Segmen Musi melepaskan energi sebesar $6,1770 \times 1020$ erg. Padahal seharusnya energi total yang telah dilepaskan sebesar $17 \times 3,31553 \times 1020$ erg = $5,63641 \times 1021$ erg. Artinya ada energi yang belum dilepaskan sebesar $5,63641 \times 1021$ erg – $6,1770 \times 1020$ erg = $5,0187 \times 1021$ erg. Energi inilah yang kita sebut sebagai energi potensial gempabumi. Jika energi ini kita konversi menjadi magnitudo, maka besarnya setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 6.6$. Pada tahun 2014 lalu, tepatnya tanggal 26, 27, dan 28 Oktober 2014 telah terjadi gempabumi signifikan pada zona Segmen Musi ini. Minggu 26 Oktober 2014 dini hari, tepatnya pukul 00:20:14,2 WIB Sesar lokal Segmen Musi di Kabupaten Kepahiang kembali menunjukkan aktivitasnya yaitu dengan terjadinya gempabumi darat berkekuatan $M=3.6$. Berdasarkan hasil analisis Stasiun Geofisika Kepahiang, episenter gempabumi terletak pada koordinat 3,63 LS 102,57 BT. Kedalaman gempa 11 km dengan lokasi yang sangat dekat dengan pusat Kota Kepahiang yaitu kurang lebih satu km Barat Kepahiang. Guncangan gempa dirasakan dengan intensitas I-II MMI di Kepahiang. Gempa ini hanya dirasakan sekitar Kota Kepahiang. Hanya berselang kurang lebih satu menit, kembali terjadi gempabumi pada segmen yang sama yaitu pada pukul 00:21:41,7 WIB. Keuatan gempa susulan ini lebih kecil dari gempa sebelumnya yaitu $M=1.5$. Episenter gempabumi yang kedua ini berpusat pada koordinat 3,64 LS 102, 57 BT dengan kedalaman 9 km. Gempa ini juga hanya dirasakan di sekitar Kota Kepahiang dengan intensitas I-II MMI di Kepahiang. Tidak ada laporan kerusakan diakibatkan oleh dua gempa ini. Selanjutnya 27 Oktober 2014 pukul 04:00:49,0 WIB Stasiun Geofisika Kepahiang kembali mencatat gempabum dirasakan dengan kekuatan 3,2 SR. Berdasarkan hasil analisa, gempabumi ini juga terletak pada segmen sesar lokal di wilayah Propinsi Bengkulu. Gempabumi kali ini berpusat pada koordinat 3,70 LS 102,72 BT dengan kedalaman 10 Km dan pada jarak 50 km Timur

Laut Bengkulu. Gempabumi juga dirasakan cukup kuat yaitu III-IV MMI di Kota Kepahiang, serta II-III MMI di Kota Bengkulu. Setelah terjadi gempabumi yang dirasakan berturut-turut tanggal 26 dan 27 Oktober 2014, masyarakat Kepahiang kembali dikejutkan oleh gempabumi yang memiliki guncangan lebih kuat. Tepat pada hari Selasa, 28 Oktober 2014 pukul 08:35:22,2 WIB gempabumi dengan kekuatan 3,6 SR terjadi. Gempabumi ini terletak pada koordinat 3,64 LS 102,58 BT dengan Kedalaman 3 Km. Gempabumi berpusat di 1 km Barat Daya Stasiun Geofisika Kepahiang. Dirasakan di Kepahiang dengan intensitas IV-MMI.



Gambar 2. Peta shakemap gempabumi tanggal 28 Oktober 2014

Gempabumi ini menyebabkan kerusakan retak-retak tanah pemukiman penduduk, dinding rumah, lantai rumah/bangunan sebanyak 12 rumah, satu bangunan masjid, dan satu bangunan gereja juga mengalami kerusakan ringan. Berdasarkan hasil survey dari tim survey Stasiun Geofisika Kepahiang di lapangan, jalur rekahan tanah / patahan mencapai 50 meter. Melihat posisi episenter gempabumi ini, diduga kuat masih berasosiasi dengan aktivitas patahan lokal Segmen Musi. Peta Shakemap gempabumi tanggal 28 Oktober 2014 ini diperlihatkan pada Gambar 2 di bawah ini. Menarik dianalisa lebih jauh apakah gempabumi yang terjadi berturut-turut tanggal 26, 27, dan 28 Oktober 2014 ini merupakan perulangan gempabumi 1997. Melihat periode ulang gempa $M > 6.0$ yang setiap 19 tahun sekali, sedangkan hingga Oktober 2017 baru memasuki tahun ke 17 sejak gempa 15 Mei 1997 boleh jadi

gempabumi tanggal 26, 27, dan 28 Oktober 2014 sebagai gempa pendahuluan. Sebab, meski mengakibatkan kerusakan, energi total dari empat gempabumi ini hanya $3,56902 \times 10^{17}$ erg atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 3,8$. Sedangkan energi yang masih tersimpan diperkirakan mencapai $5,0187 \times 10^{21}$ erg. setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 6,6$.

Kesimpulan

Dari analisis secara statistik di atas, dapat disimpulkan bahwa daerah Segmen Musi melepaskan energi gempabumi sebesar $1,99349 \times 10^{20}$ erg per tahun atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 5,7$. Sedangkan energi simpan gempabumi per tahun sebesar $1,32205 \times 10^{20}$ erg atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 5,5$. Dari hasil energi lepas dan energi simpan tersebut, diketahui bahwa daerah Segmen Musi setiap tahun menghasilkan energi gempabumi total sebesar $3,31553 \times 10^{20}$ erg atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 5,8$. Sejak terakhir terjadi gempabumi signifikan tanggal 15 Mei 1997 sampai sekarang, segmen Musi menyimpan energi potensial gempabumi sebesar $5,0187 \times 10^{21}$ erg atau setara dengan gempabumi berkekuatan $M = 6,6$.

Daftar Pustaka

- [1]Natawidjaja, D.H., Ruslan.M. (1994). Kondisi Tektonik Serta Hubungannya Dengan Kegempaan dan Aktivitas Gunung Api di Daerah Rejang Lebong, Bengkulu. Prosiding Hasil-Hasil Penelitian Puslitbang Geoteknologi LIPI.
- [2]Ardiansyah, Sabar. (2014). Energi Potensial Gempabumi di Kawasan Segmen Mentawai-Sumatera Barat. Physics Student Journal Vol.2 No.1.
- [3]Murjaya, J., Sri Brotopuspito, K., Hendarajaya, L., and Pramumijoyo, S. (2009). Seismic Patern and Lithosphere Behavior in Sumatra Subduction Zone and its Vicinity. Proceeding of Gehazard and GeoDisaster Mitigation RC-Geo Envi 2009. March. Malaysia : University Sains Malaysia.
- [4]Pranata, Dani Ajie. (2010). Analisis Mekanisme Fokus Gempabumi Di Meulaboh (Nanggroe Aceh Darussalam) 9 Mei 2010. Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- [5]Natawidjaja, Danny Hilman. (2007). Gempabumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk

Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam. Laporan Survey.

- [6]Gunawan, Tomy. (2010). Analisis Energi Gempabumi Daerah Tasikmalaya dan Sekitarnya. Laporan Kerja. Akademi Meteorologi dan Geofisika Jakarta.