BMKG

megasains

buletin meteorologi, klimatologi, kualitas udara, geofisika, dan lingkungan

VOL 10 | NO.1 | SEPTEMBER 2019 ISSN 2086 - 5589

SIMULASI PROYEKSI PRODUKSI PADI TAHUN 2030-2062 DIBANDINGKAN PRODUKSI PADI TAHUN 1980-2012 MEGGUNAKAN MODEL AQUACROP DI BAYUWANGI JAWA TIMUR
Leni Nazarudin

RANCANG BANGUN MARITIME AUTOMATIC WEATHER STATION
Yanu Arizal dan Made Dwi Jendra P

KARAKTERISTIK POLA SAMBARAN PETIR CLOUD TO GROUND (CG) DI WILAYAH SUBU-LUSSALAM
Anang Heriyanto, Didik Sugiono dan Faisal

PROYEKSI PARAMETER IKLIM BERDASARKAN SKENARIO PERUBAHAN IKLIM RCP 4.5 DAN RCP 8.5 MENGGUNAKAN STATISTICAL DOWNSCALLING DI WILAYAH KOTA SORONG
Linda Natalia So'langi dan Akhmad Fatony

ANALISA KUALITAS UDARA DI STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL (GAW) BUKIT KOTOTABANG BERKAITAN DENGAN KEKERINGAN SAAT EL NINO TAHUN 2014-2015
Mareta Asnia, Wandayantolis dan Rendi Septa Davi

IDENTIFIKASI OSILASI ATMOSFER YANG MEMPENGARUHI VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU DI BANDUNG
Neneng Sugianti dan Tony Agus Wijaya

MEGASAINS | VOLUME 10 | NOMOR 1 | HALAMAN 1 - 47 | BKT SEPTEMBER 2019 | ISSN 2086 - 5589

BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA

STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL (GAW) BUKIT KOTOTABANG

MEGASAINS © 2019
STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL (GAW) BUKIT KOTOTABANG
Telp. (0752) 7446089 / Fax. (0752) 7446449
E-mail: stagaw.kototabang@bmkg.go.id
http://gaw.kototabang.bmkg.go.id

ISSN 2086-5589
9 772086 558003

ISSN 2086-5589

megasains
buletin meteorologi, klimatologi, kualitas udara, geofisika, dan lingkungan

Vol. 10, No. 1, September 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

MITRA BESTARI
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 Buyung Arifin, S.Tr
Tanti Tritama Okaem, S.Si
Fajri Zulgino, ST

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 penuangan Karya Tulis ilmiah (KTI) yang bersumber dari kegiatan penelitian berbasis ilmu-ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas udara, dan Geofisika (MKKuG), serta lingkungan.

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

Naskah KTI yang dikirimkan hendaknya asli dan belum pernah dipublikasikan. Naskah diketik dengan menggunakan aplikasi *Microsoft™ Word* dengan ketentuan panjang naskah maksimal 20 halaman pada kertas ukuran A4; batas kiri 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 izin-Nya Jurnal Megasains Volume 10 No 1 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 online jurnal yang memudahkan para penulis untuk mengirim naskahnya, kemudian memantau progres review hingga 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, mitra bestari dan tim redaksi yang telah bekerja keras demi terbitnya Megasains Volume 10 No 1 tahun 2019 ini.

Sekian, wassalamu alaikum wr.wb

Bukit Kototabang, September 2019

Daftar KTI

	halaman
SIMULASI PROYEKSI PRODUKSI PADI TAHUN 2030-2062 DIBANDINGKAN PRODUKSI PADI TAHUN 1980-2012 MENGGUNAKAN MODEL AQUACROP DI BANYUWANGI JAWA TIMUR **Leni Nazarudin**	1 - 7
RANCANG BANGUN MARITIME AUTOMATIC WEATHER STATION **Yanu Arizal dan Made Dwi Jendra P**	8 - 19
KARAKTERISTIK POLA SAMBARAN PETIR CLOUD TO GROUND (CG) DI WILAYAH SUBULUSSALAM **Anang Heriyanto, Didik Sugiyono dan Faisal**	20 - 25
PROYEKSI PARAMETER IKLIM BERDASARKAN SKENARIO PERUBAHAN IKLIM RCP 4.5 DAN RCP 8.5 MENGGUNAKAN STATISTICAL DOWNSCALLING DI WILAYAH KOTA SORONG **Linda Natalia So'langi dan Akhmad Fatony**	26 - 31
ANALISIS KUALITAS UDARA DI STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL (GAW) BUKIT KOTOTABANG BERKAITAN DENGAN KEKERINGAN SAAT *EL NIÑO* TAHUN 2014-2015 **Mareta Asnia, Wandayantolis dan Rendi Septa Davi**	32 - 40
IDENTIFIKASI OSILASI ATMOSFER YANG MEMPENGARUHI VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU DI BANDUNG **Neneng Sugianti dan Tony Agus Wijaya**	41 - 47

Megasains, Vol. 10, No. 1, 1-7
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
© GAW BKT, 2019

Simulasi Proyeksi Produksi Padi Tahun 2030-2062 Dibandingkan Produksi Padi Tahun 1980-2012 Menggunakan Model AquaCrop di Banyuwangi Jawa Timur

Leni Nazarudin

Pusat Informasi Perubahan Iklim, BMKG Pusat Jakarta

Abstrak. Menggunakan data harian iklim periode 1980-2012 (33 tahun) dari Stasiun Meteorologi Banyuwangi Jawa Timur, telah dibuat proyeksi suhu maksimum, suhu minimum dan evapotranspirasi potensial (ETo) serta curah hujan 50 tahun ke depan (2030-2062) berdasarkan tren linier perubahannya pada periode historis. Menggunakan data iklim historis (1980-2012) dan data iklim proyeksi (2030-2062), dilakukan simulasi produksi padi menggunakan model AquaCrop. Suhu malam hari (suhu minimum) meningkat dengan laju yang lebih besar daripada suhu siang (suhu maksimum). Proyeksi suhu maksimum di Banyuwangi pada tahun 2030-2062 berada pada kisaran 31.6°C – 32.2 °C dan suhu minimum pada kisaran 24.8°C – 26.0°C. Evapotranspirasi mengalami penurunan 0.3 mm/hari dari 1497 mm/tahun di tahun 1980 menjadi 1390 mm/tahun di tahun 2030 dan 1320 mm/tahun di tahun 2062. Dengan asumsi terjadi peningkatan curah hujan ekstrim sebesar 30%, curah hujan pada puncak musim hujan bertambah dan curah hujan pada puncak musim kemarau berkurang. Produksi padi pada tahun 2030-2062 diproyeksikan meningkat setiap bulan sepanjang tahun sekitar 1 ton kecuali bila tanam pada bulan April. Peningkatan curah hujan di masa mendatang, memperpanjang musim tanam padi yang semula 9 bulan dalam setahun menjadi 11 bulan.

Kata kunci: padi, produksi padi, evapotranspirasi, simulasi, AquaCrop

Abstract. *Using daily climatic data period 1980-2012 (33 years) of the Meteorological Station Banyuwangi, East Java, has developed the projected maximum temperature, minimum temperature and potential evapotranspiration (ETo) and rainfall over the next 50 years (2030-2062) is based on a linear trend updates on historical period. Using historical climate data (1980-2012) and projected climate data (2030-2062), carried out rice production simulations using AquaCrop model. Night time temperatures (minimum temperature) increased at a rate greater than the daytime temperature (maximum temperature). Projected maximum temperature in Banyuwangi in 2030-2062 in the range of 31.6 ° C - 32.2 ° C and the minimum temperature in the range of 24.8 ° C - 26.0 ° C. Evapotranspiration decreased 0.3 mm / day from 1497 mm / year in 1980 to 1390 mm / year in 2030 and 1320 mm / year in 2062. Assuming an increase in extreme rainfall by 30%, rainfall at the peak of the rainy season increases and precipitation at the peak of the dry season is reduced. Rice production in 2030-2062 is projected to increase every month throughout the year about 1 ton except when planting in April. Increased rainfall in the future, to extend the rice-planting season which was originally 9 months a year to 11 months.*

***Key words**: rice, rice production, simulation, evapotranspiration, AquaCrop*

Pendahuluan

Cuaca adalah penyebab utama terjadinya fluktuasi (keragaman) produksi pertanian dari tahun ke tahun. Telah disadari pada dasawarsa terakhir ini tentang kemungkinan perubahan iklim disebabkan oleh aktivitas manusia karena setiap perubahan terhadap iklim dan cuaca akan meningkatkan ketidakpastian produksi pangan.

Perubahan utama pada atmosphere bumi adalah konsentrasi CO_2 yang telah meningkat sekitar 25% sejak permulaan revolusi industri. Karbondioksida meningkatkan fotosintesis dan menekan respirasi tanaman. Kenaikan konsentrasi CO_2 dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer memperkuat efek rumah kaca yang berimplikasi pada kenaikan suhu global. Laporan Working Group I IPCC (2013) tentang status terbaru perubahan iklim menyebutkan bahwa tren linier suhu rata-rata kombinasi lautan dan daratan dari periode tahun 1880 sampai 2012 mengalami peningkatan 0.85°C dengan kisaran antara 0.65-1.06°C. Selain itu kenaikan suhu global berimplikasi pada peningkatan kejadian hujan ekstrim Menurut Clausius-Clapeyron, water holding capacity atmosfer meningkat 7% setiap kenaikan suhu 1° (Chen Liu, Bin Fu, Jung Shiu, Ping Chen dan Wu, 2009). Intensitas presipitasi global meningkat 23%/°C, lebih besar dari peningkatan water holding capacity atmosfer karena tambahan panas laten yang dilepaskan akibat peningkatan kelembaban. Kapasitas atmosfer menahan air (water holding capacity) meningkat dengan meningkatnya suhu.

Kondisi komposisi atmosfer yang berubah sangat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman pangan yang secara langsung ataupun tidak mempengaruhi produksi pangan. Konsentrasi CO_2 di udara makin tinggi, suhu makin panas, dan iklim ekstrim (El-Nino/ La-Nina) akan lebih sering terjadi. Peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer mempunyai pengaruh positif terhadap produksi biomass, tetapi pengaruhnya terhadap penurunan produksi padi berhubungan dengan peningkatan suhu udara. Hasil penelitian Matthews, Kropff, Horie and Bachelet (1997), menunjukan bahwa berdasarkan simulasi tanaman, kenaikan suhu rata-rata 1ºC akan menurunkan produksi 5-7% padi. Penurunan hasil tersebut disebabkan oleh berkurangnya pembentukan gabah, pendeknya periode pertumbuhan, dan meningkatnya respirasi (Matthews and Wassmann, 2003). Peningkatan suhu malam hari lebih besar daripada suhu siang (Kukla dan Kerr, 1993). Hasil padi berkolerasi negatif dengan suhu malam (Peng et al. 2004). Alasan dari korelasi negatif ini adalah variasi radiasi matahari, kehilangan akibat respirasi atau pengaruh pengaruh diferensial dari suhu malam vs. Suhu siang terhadap pertumbuhan anakan, pengembangan luas daun, pemanjangan batang dan pengisian gabah (Peng et al. 2004) Untuk dapat mengetahui bagaimana pengaruh perubahan kondisi lingkungan terhadap produksi tanaman diperlukan model simulasi tanaman. Proses-proses yang terjadi dalam tanaman diwakili oleh persamaan matematis.

Pemodelan didefinisikan sebagai penyederhanaan sistem dengan pendekatan mekanistik, dapat menjadi pendekatan alternatif untuk pemahaman dan prediksi ekofisiologi proses pertumbuhan, pengembangan dan produksi tanaman. Model AquaCrop mensimulasikan produksi tanaman sebagai respon terhadap air (Steduto, Hsiao dan Fereres, 2009a dan 2009b). AquaCrop sudah digunakan secara luas dalam berbagai kajian untuk melihat pengaruh berbagai faktor seperti ketersediaan air dan irigasi pada berbagai tanaman. Vanuytrecht, Raes dan Willers (2011) menggunakan AquaCrop untuk mensimulasikan pengaruh peningkatan CO_2 terhadap tanaman. Heng, Hsiao, Evett, Howel dan Steduto (2009) menggunakan AquaCrop untuk tanaman Jagung. Garcia-Vila, Fereres, Mateos, Orgaz dan Steduto (2009) mensimulasikan AquaCrop untuk tanaman kapas.

Padi merupakan tanaman pokok penting di Indonesia. Sebagian besar penduduk Indonesia menjadikan padi sebagai makanan pokok. Produksi padi tersebar di beberapa provinsi di Indonesia terutama di Pulau Jawa. Produktivitas padi rata-rata nasional adalah 5.1 Ton/Ha. Berdasarkan data produksi padi tahun 2013, Jawa Timur penyumbang produksi padi tertinggi di Indonesia. Kabupaten Banyuwangi adalah salah satu kabupaten penyumbang produksi padi terbesar di Provinsi Jawa Timur dengan produktivitas mencapai 62.18 kwintal/ha (BPS, 2013. Perubahan iklim secara langsung akan mempengaruhi produksi padi. Hasil penelitian Hosang, Tatuh dan Rogi (2012) menggunakan model numerik (simulasi) dan spasial dalam menganalisis dampak perubahan iklim terhadap produksi beras di Sulawesi Utara. Hasilnya menunjukkan bahwa ketersediaan beras pada tahun 2030 mengalami defisit sebesar 141.677 ton.

Penelitian ini ingin mengetahui potensi produksi padi rata-rata setiap musim tanam di Banyuwangi pada periode 1980-2012 dan potensi produksi pada rata-rata bulanan periode 50 tahun mendatang pada periode 2030-2062. Potensi produksi padi merupakan keluaran simulasi AquaCrop yang salah satu input pentingnya adalah data iklim harian. Untuk mensimulasikan produksi pada pada periode mendatang menggunakan proyeksi data iklim berdasarkan tren parameter iklim di stasiun Banyuwangi pada periode historis (1980-2012). Dari kajian ini ingin diketahui apakah ada perubahan produksi padi pada periode historis dengan periode proyeksi.

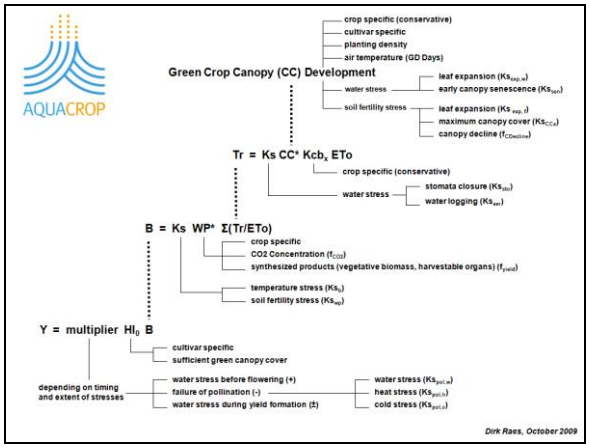
Metodologi

Dalam penelitian ini digunakan data series Fklim harian dari tahun 1980-2012 (33 tahun) dari stasiun Meteorologi Banyuwangi Jawa Timur yang terletak pada 8.22 LS dan 114 BT pada ketinggian 13 m di atas permukaan laut (Gambar 1) yang terdiri dari series data: suhu rata-rata, suhu

maksimum, suhu minimum (°C), Lama penyinaran (jam), RH rata-rata (%), Kecepatan angin rata-rata (knot) dan curah hujan. Untuk pengolahan data digunakan software AquaCrop dan microsoft Excel.

Gambar 1. Posisi Stasiun Meteorologi Banyuwangi Jawa Timur

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan kegiatan. Tahap pertama dilakukan inventarisasi data iklim harian serta quality control (QC). Data suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, lama penyinaran, RH rata-rata, Kecepatan angin rata-rata dan curah hujan harian disusun series ke bawah tanpa judul kolom dan disimpan dalam format (text). Selanjutnya dilakukan proses import data iklim ke AquaCrop. Adapun skema perhitungan produksi tanaman (yield) diberikan oleh Gambar 2. Didalam AquaCrop dihitung nilai ETo (Evapotranspirasi reference) menggunakan persamaan Penman – Monteith. ETo adalah merupakan evapotranspirasi referensi yaitu dari suatu permukaan rumput yang tumbuh secara optimal dan cukup air. Metode perhitungan dalam ETo diberikan oleh Raes (2012). Setelah itu dilakukan running AquaCrop. Running Aqua crop dilakukan dalam dua tahapan:

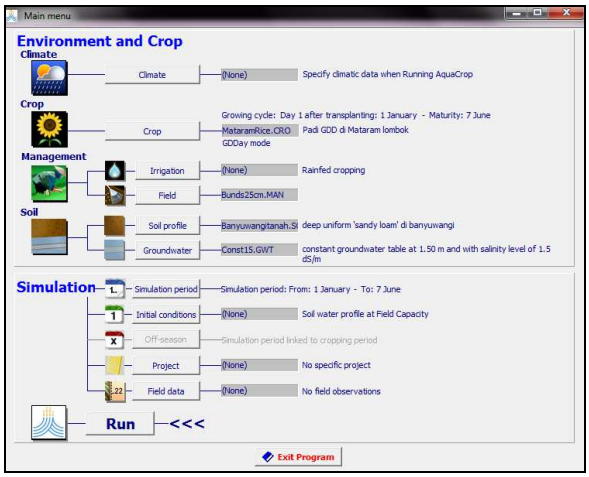


Gambar 2. Skema perhitungan AquaCrop

1. Running simulasi AquaCrop menggunakan data iklim historis yaitu ETo, curah hujan dan suhu (maksimum dan minimum) harian yang telah di-*create* di dalam aqua crop dengan periode data 1 Januari 1980 s.d 31 Desember 2012. Selain data iklim, untuk running Aqua crop diminta informasi terkait karakteristik tanaman, irigasi, manajemen di lahan, profil tanah dan air tanah.

Berikut karakteristik tanaman dan lingkungan yang jadi input AquaCrop (Gambar 3).

A. Karakteristik tanaman:
-*Crop type: Grain crop*
-*Crop development* : *Growing Degree Days* dengan *base temperature* 8°C dan *upper temperature* 30°C
- Tipe *planting method*: *transplanting*
- *Density* : 6.7 tanaman/m2
-WP = 19 g/m2, merupakan tanaman C3 (15-20 g/m2)



Gambar 3. Input untuk running aqua crop

B. Karakteristik irigasi: *No Irrigation*
Merupakan padi tadah hujan (sumber air hanya dari air hujan)

C. Karakteristik tanah
Tanah tekstur: *deep uniform sandy loam* (tanah lempung berpasir yang seragam dan dalam). Sebagian besar tekstur tanah di wilayah Banyuwangi merupakan tanah sedang (lempung) dengan jenis tanah litosol, alluvial dan regosol (Gambaran Umum BWP Banyuwangi, 2013).

D. *Groundwater*:
Constant Ground Water Table pada kedalaman 1.5 m dengan tingkat salinitas 1.5 dS/m

E. *Initial Condition*:
Dry top soil (10%volume) dan *Wet sub soil* (30%volume)

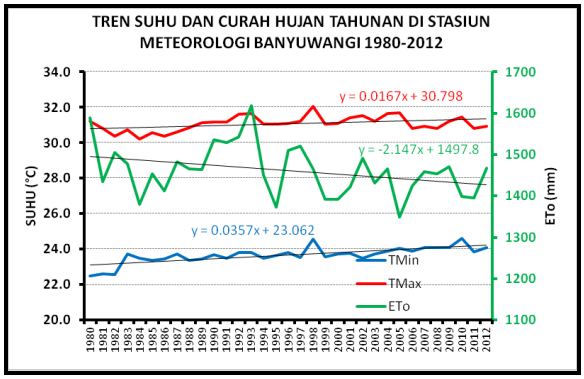
Running Aqua crop dilakukan setiap bulan dari tahun bulan Januari 1980 sampai Desember 2012.

2. Running Aqua Crop menggunakan data proyeksi 50 tahun ke depan (1 Januari 2030 sampai 31 Desember 2062). Data proyeksi menggunakan metode Statistical downscaling berdasarkan nilai tren linier data historis 1 Januari 1980 sampai 31 Desember 2012. Statistical downscaling menggunakan asumsi tren iklim historis adalah linier (statis) dan diproyeksikan tetap pada periode mendatang. Caranya dengan melakukan analisis tren data historis sehingga diperoleh nilai besarnya perubahan data iklim (ETo, suhu maksimum dan minimum) dalam 50 tahun. Nilai ini ditambahkan ke nilai data periode historis. Data curah hujan diproyeksikan lebih ekstrim 30% dengan rata-rata dan standar deviasi yang tetap. Data proyeksi diimport ke dalam AquaCrop dan dirunning menggunakan input karakteristik tanaman dan lingkungan yang sama dengan running AquaCrop menggunakan data historis. Running simulasi AquaCrop dilakukan setiap bulan dari bulan Januari 1980 sampai bulan Desember 2012. Produksi padi untuk masing-masing periode (historis dan proyeksi) ditampilkan dalam grafik median, quartil 1 dan quartil 3.

Hasil dan Pembahasan

A. Analisis Tren Data Iklim historis

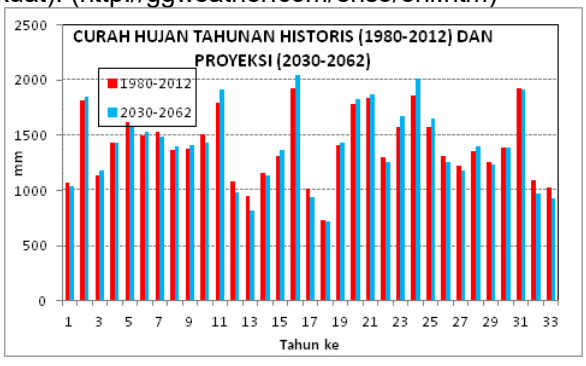
Hasil plot data tahunan suhu maksimum, suhu minimum dan ETo dari tahun 1980 sampai 2012 diberikan pada Gambar 4. Pada periode 1980-2012, suhu maksimum dan minimum rata-rata tahunan di Stasiun Banyuwangi adalah 31.1°C dan 23.7°C. Curah hujan tahunan rata-rata 1402 mm dan ETo tahunan rata-rata 1461 mm



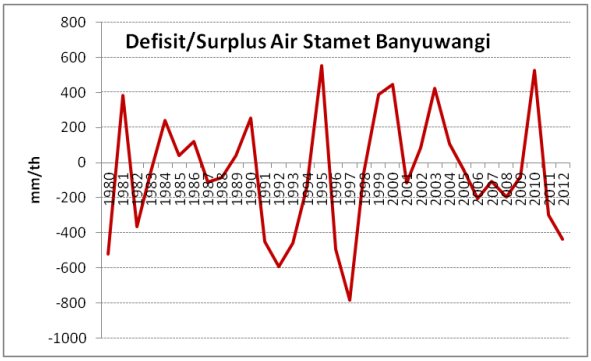
Gambar 4: Tren data historis suhu dan ETo tahunan di Stamet Banyuwangi

Analisis tren linier menunjukkan peningkatan suhu maksimum dan minimum. Suhu maksimum meningkat sebesar 1.67°C/100 tahun. Bila tren ini diasumsikan tetap berlanjut konstan, maka suhu maksimum 50 tahun mendatang (2030-2062) meningkat sebesar 0.84°C. Suhu minimum meningkat sebesar 3.57°C/100 tahun. Bila tren ini diasumsikan tetap berlanjut konstan, maka suhu minimum 50 tahun mendatang (2030-2062) meningkat sebesar 1.79°C. Artinya suhu pada malam hari meningkat lebih besar daripada suhu siang hari. Hal ini menunjukkan bahwa *global warming* telah terjadi menyebabkan kandungan uap air meningkat sehingga pada malam hari uap air ini menahan panas bumi yang dilepaskan sehingga suhu malam hari menjadi lebih besar. Kenaikan suhu malam adalah penyebab utama dari naiknya suhu global sejak pertengahan bada ke-20 (Kukla dan Karl, 1993). Hasil padi berkolerasi negatif dengan suhu malam (Peng *et al.* 2004). Alasan dari korelasi negatif ini adalah variasi radiasi matahari, kehilangan akibat respirasi atau pengaruh pengaruh diferensial dari suhu malam vs. Suhu siang terhadap pertumbuhan anakan, pengembangan luas daun, pemanjangan batang dan pengisian gabah.

ETo (Evapotranspirasi potensial) periode 1980 sampai 2012 hasil keluaran AquaCrop menunjukkan tren penurunan sebesar 214.7 mm/100 tahun. Bila tren ini diasumsikan terus berlanjut secara konstan, ETo 50 tahun ke depan (2030-2062) mengalami penurunan sebesar 107.35 mm. Atau perharinya ETo menurun 0.3 mm. Berdasarkan nilai tren tersebut diperoleh proyeksi suhu maksimum dan minimum serta nilai ETo tahun 2030-2062. Sedangkan untuk curah hujan diasumsikan lebih ekstrim 30% dengan nilai rata-rata dan standar deviasi konstan (Gambar 5). Pada Gambar 6 ditampilkan neraca air (defisit dan surplus air) yang merupakan hasil pengurangan curah hujan dengan ETo (Evapotranspirasi). Kejadian defisit air terjadi pada tahun-tahun el nino (lemah, moderat dan kuat) yaitu tahun 1979-1980 (el nino lemah), 1982-1983 (el nino kuat), 1991-1992 (el nino moderat), 1997-1998 (el nino kuat). (http://ggweather.com/enso/oni.htm)



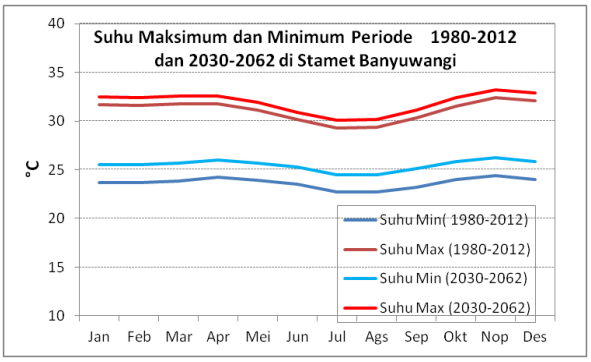
Gambar 5: Curah hujan historis dan proyeksi (lebih ekstrim 30%)



Gambar 6. Neraca air periode 1980-2012

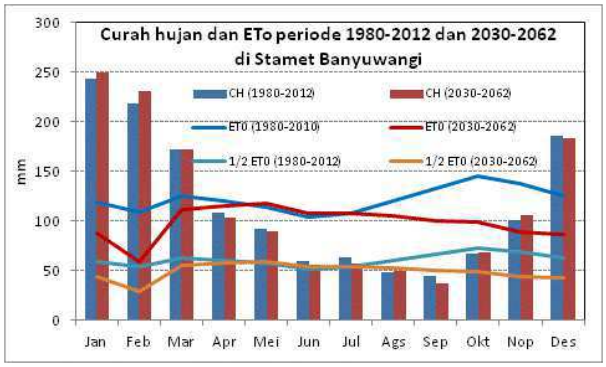
B. Analisis data iklim bulanan

Pada periode 2030-2062, suhu minimum meningkat lebih tinggi dari suhu maksimum yang menunjukkan peningkatan suhu malam hari. Fluktuasi suhu maksimum dan minimum dari bulan tidak terlalu besar (Gambar 7).



Gambar 7: Suhu Maksimum dan Minimum periode data 1980-2012 dan 2030-2062

Daerah Banyuwangi mempunyai pola hujan monsunal dengan satu puncak hujan yang terjadi di bulan Januari (Gambar 8) diproyeksikan curah hujan di puncak musim hujan (Januari dan Februari) bertambah dan di musim kemarau (April sampai Oktober) berkurang. Di masa mendatang (2030-2062) terjadi pengurangan evapotranspirasi hampir sepanjang tahun kecuali bulan Mei sampai Juli. Defisit hujan (Curah hujan lebih kecil dari Evapotranspirasi) pada bulan April sampai Nopember, namun di masa mendatang, defisit hujan hanya terjadi dari April sampai Oktober. Untuk pertumbuhan tanaman, dibutuhkan curah hujan minimum sebesar ½ ETo*). Tanpa irigasi, petani tidak bisa lagi bercocok tanam padi gogo di 3 bulan dalam setahun yaitu bulan Agustus sampai Oktober, namun masa mendatang (2030-2062) padi tadah hujan tidak bisa ditanam hanya 1 bulan saja di bulan September. Oleh karena itu musim tanam padi lebih panjang 2 bulan dibanding periode sekarang.



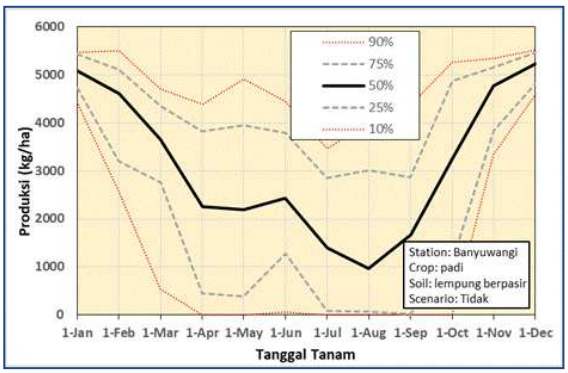
Gambar 8: Curah hujan dan ETo Periode 1980-2012 dan 2030-2062

C. Produksi Padi Hasil Simulasi Aqua Crop

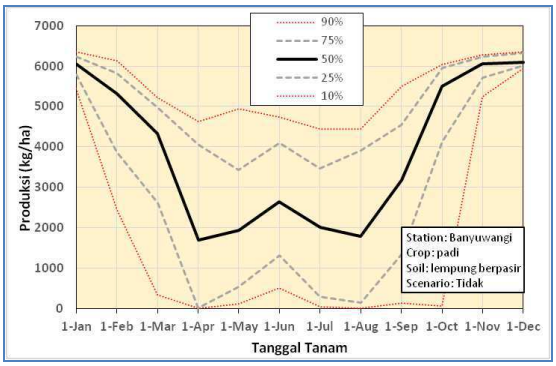
Hasil produksi padi keluaran running AquaCrop diberikan pada Gambar 9 (untuk periode historis 1980-2012) dan Gambar 10 (untuk periode proyeksi 2030-2062).

Pada periode 1980-2012, rata-rata produksi padi berkisar antara 968 kg/ha sampai 5234 kg/ha. Produksi terendah bila tanam pada tanggal 1 Agustus dan produksi tertinggi bila tanam pada tanggal 1 Desember.

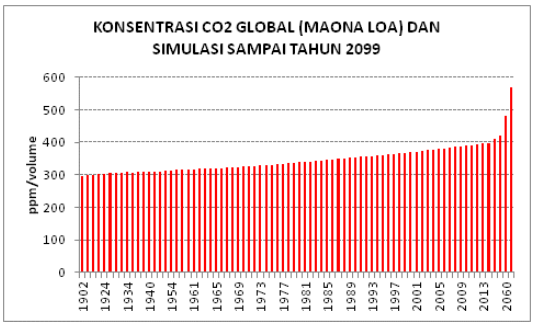
Pada periode 2030-2062, produksi berkisar antara 1691 kg/ha bila tanam pada 1 April sampai 6103 kg/ha bila tanam pada 1 Desember artinya terjadi peningkatan produksi sekitar 1 ha sepanjang tahun kecuali pada bila tanam bulan April terjadi penurunan produksi di masa mendatang. Peningkatan produksi ini mungkin disebabkan peningkatan curah hujan serta ketersediaan CO_2. Di tahun 2030-2062, konsentrasi CO_2 berkisar antara 420-480 ppm, meningkat dibandingkan tahun 2014 yang berada pada kisaran 398 ppm (Gambar 11). Menurut Horie, Baker, Nakagawa, Matsui and Kim (2000), padi seperti tanaman C_3 lainnya menunjukkan penggunaan air yang lebih efisien pada kondisi pengayaan CO_2, yang menyebabkan peningkatan produksi biomass dan penurunan transpirasi. Peningkatan suhu siang dan malam di Banyuwangi sepertinya belum berpengaruh negatif terhadap produksi tanaman. Proyeksi suhu siang pada tahun 2030-2062 berada pada kisaran 31.6 – 32.2 °C, dan suhu malam pada kisaran 24.8 – 26.0°C. Tanaman padi kritis terhadap suhu tinggi dan suhu rendah pada fase generatif yaitu pembungaan dan pengisian biji. Suhu di bawah 20°C dan diatas 35°C pada fase bunga akan meningkatkan sterilitas gabah (Matsui et al, 1997 dalam Horie et al, 2000).



Gambar 9: Hasil simulasi Produksi padi periode 1980-2012



Gambar 10: Hasil simulasi Produksi padi periode 2030-2062



Gambar 11: Konsentrasi CO2 global 1902 sampai 2099

Kesimpulan

Berdasarkan nilai tren periode historis, Suhu maksimum di Banyuwangi diproyeksikan pada tahun 2030-2062 berada pada kisaran 31.6°C – 32.2 °C dan suhu minimum pada kisaran 24.8°C – 26.0°C. Suhu malam hari (suhu minimum) meningkat dengan laju yang lebih besar daripada suhu siang. Evapotranspirasi mengalami penurunan 0.3 mm/hari dari 1497 mm/tahun di tahun 1980 menjadi 1390 mm/tahun di tahun 2030 dan 1320 mm/tahun di tahun 2062. Dengan asumsi terjadi peningkatan curah hujan ekstrim sebesar 30%, curah hujan pada musim kemarau bertambah dan curah hujan di musim kemarau berkurang.

Peningkatan suhu dan peningkatan curah hujan ekstrim sebesar 30%, belum perpengaruh buruk pada produksi padi. Produksi padi pada tahun 2030-2062 diproyeksikan meningkat setiap bulan sepanjang tahun sekitar 1 ton kecuali bila tanam pada Bulan April. Peningkatan curah hujan di masa mendatang, memperpanjang musim tanam padi yang semula 9 bulan dalam setahun menjadi 11 bulan.

Daftar Pustaka

Anonim, 2013. Laporan Fakta dan Analisa revisi Rencana Detail Tata Ruang, Gambaran Umum BWP Banyuwangi. (*https://www.scribd.com/doc/209574465/BAB-VI-Gambaran-Umum-BWP-Banyuwangi-Landuse.* Akses 23 Agustus 2016)

BPS Provinsi Jawa Timur, 2013. Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi Sawah dan Ladang 2013. (*http://jatim.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/123*. diakses 6 September 2016)

Chen Liu, S, C. Bin Fu, C. Jung Shiu, Ping Chen, J., dan F. Wu. 2009. Temperature dependence of global precipitation extremes. *Geophysical Research Letters*, 36 L, 17702

Garcia-Vila, M., E. Fereres, L. Maters, F. Orgaz., dan P. Steduto. 2009. Deficit Irrigation Optimatization of cotton with AquaCrop. *Agron J*. 101:477-487

Heng, L.K., T.C Hsiao, S.Evett, T. Howell dan P. Studeto. 2009. Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficit Field Maize. *Agron. J*: 101-490.

Kukla, G. and Kar, T. R. 1993. Nighttime warming and the green house effect. *Environ. Sci. and Tech*, 27(7):1468 – 1474

Matthews, R.B, M.J Kropff, T. Horie and D. Bachelet. 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. *Agricultural Systems,* 54 (3):399-425.

Matthews, R.B., and Wassmann, R. 2003. Modelling the impacts of climate change and methane eission reduction on rice production: a review. *European Journal of Agronomy,*19 (4):573-598

P.R. Hosang, J.Tatuh., dan J.E.X. Rogi. 2012. Analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap produksi Beras Provinsi Sukawesi Utara tahun 2013-2030. *Eugenia*, 18 (3).

Peng, S., et al.2004.Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101:9971–9975.

P. Steduto, T.C. Hsiao, D. Raes dan E. Fereres. 2009. Aquacrop-The FAO Crop model to simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agron J*, 101:426-437

P. Steduto, T.C. Hsiao, D. Raes., dan E. Fereres. 2009. Aquacrop-The FAO Crop model to simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agron J*, 101:438-447

Raes, D. 2012. *ETo Evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual Version 3.2*. Land and Water Division. FAO. Via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome. Italy.

Vanuytrecht, E., D. Raes., dan P. Willers. 2011. Considering Sink Strength to Model Crop Production under Elevated Atmospheric CO2. *Agric For Meteorol*, 151:1753-1762

Megasains, Vol. 10, No. 1, 8-19
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
© GAW BKT, 2019

Rancang Bangun Maritime Automatic Weather Station

Yanu Arizal[1] dan Made Dwi Jendra P[1]

[1]Stasiun Klimatologi Lombok Barat

Abstrak.Pengamatan parameter cuaca merupakan hal yang penting dalam memprakirakan cuaca dan melakukan analisa untuk mengetahui fenomena cuaca yang terjadi, minimnya pengamatan cuaca maritim di BMKG merupakan salah satu faktor dari tingkat akurasi prakiraan cuaca yang dikeluarkan BMKG. Diperlukan alat atau instrumen pemantau parameter cuaca maritim yang bekerja otomatis merekam data pengamatan untuk mempermudah pengamatan cuaca. Rancangan alat Maritime Automatic Weather Station terdiri dari beberapa pengukuran parameter cuaca seperti suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, suhu air laut, arah angin dan kecepatan angin. Perangkat keras terdiri atas sensor-sensor yaitu SHT11, BMP180, DS18B20, HCSR04, Wind Speed, Wind Direction dan juga perangkat keras lainnya yaitu minimum sistem ATmega 2560, Atmega 328, modul RTC3231, SD-Card, Telemetry 3DR, dan LCD 20x4 untuk menampilkan data, sedangkan perangkat lunak untuk membangun sistem terdiri dari Arduino IDE dan LabView. Data dari sensor-sensor akuisisi data diolah menggunakan mikrokontroller sehingga menghasilkan data parameter cuaca, selanjutnya data parameter tersebut dikirim menggunakan komunikasi nirkabel dan di tampilkan dalam aplikasi yang dibangun.

Kata Kunci: SHT11, BMP180, DS18B20, HCSR04, Wind Speed, Wind Direction, mikrokontroller.

Abstract. Abstract Observation of weather parameters are important for forecasting and analysing weather to determine the weather phenomenon, the lack of maritime weather observations in BMKG is one of the factors of the accuracy of weather forecasts issued by BMKG. Therefore, it required a tool or instrument to monitoring maritime meteorological parameters that work automatically to record data and facilitate weather observation. The design of Maritime Automatic weather station consists of several meteorological parameters such as air temperature, air humidity, air pressure, sea water temperature, wind direction and wind speed. The hardware consists of several sensors such as SHT11, BMP180, DS18B20, HCSR04, Wind Speed, Wind Direction and other supporting devices like ATmega 2560 and Atmega 328 minimum system, RTC3231, SD-Card, Telemetry 3DR, and LCD 20X4 to display data, while for the software consists of Arduino IDE to build the system and LabView. Data from sensors is processed using a microcontroller to generate weather parameter data, then they will be transmitted using wireless communication and displayed in software application.

***Keywords*:** SHT11, BMP180, DS18B20, HCSR04, Wind Speed, Wind Direction, microcontroller.

Pendahuluan

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan dengan dua pertiga luas lautan lebih besar daripada daratan, sebuah negara yang memiliki laut yang luas, Indonesia juga bisa disebut sebagai negara maritim. Pengamatan atau observasi cuaca sangatlah diperlukan untuk keselamatan manusia, di mana terdapat unsur unsur cuaca yang harus diamati dan dijadikan sebagai bahan untuk memprakirakan cuaca, prakiraan tersebut bisa dimanfaatkan untuk mengurangi atau bahkan menghindari resiko buruk yang diakibatkan oleh cuaca itu sendiri.

Pengamatan cuaca diperlukan sebuah alat atau *instrument* yang ditempatkan dalam suatu lokasi tertentu untuk mewakili kondisi lngkungan di sekitarnya atau dapat disebut sebagai stasiun pengamatan. Menurut (Kanton, 2009) Kerapatan jaringan stasiun pengamatan dan keakuratan data akan menentukan hasil prakiraan cuaca yang baik. Oleh karena itu penulis akan membuat "Rancang Bangun *Maritime Automatic Weather Station*" yang diharapkan dapat semakin meningkatkan kerapatan jaringan, karena masih banyak daerah yang belum terdapat jaringan stasiun pengamatan khususnya pengamatan untuk cuaca maritim.

arizalyanu@gmail.com

Metodologi

Perancangan Sistem

Automatic Weather Station (AWS) didefinisikan sebagai stasiun meteorologi yang melakukan pengamatan dan mengirim secara otomatis (WMO, 2008).

Perancangan program akuisisi untuk masing-masing Parameter/sensor dilakukan dengan mempertimbangkan ketentuan-ketentuan pengamatan yang telah ditetepkan WMO dan BMKG (Ibnu, 2010). Perancangan sebuah sistem AWS maritim dibangun dibagi dua bagian utama dalam perancangan yaitu hardware dan software. Yaitu mulai dari blok diagram AWS maritim, mikrokontroller yang akan digunakan beserta sensor-sensor, rangkaian sistem AWS, akuisisi data serta juga menjelaskan perencanaan tampilan softwarenya dan juga sistem akuisisi data sensor.

Akuisisi Data Sensor

Sistem akuisisi data sensor merupakan hal penting dalam membangun sistem M-AWS (*Maritime Automatic Weather Station*) dimana dalam pembacaan data dari sensor-sensor algoritma perhitungan harus sesuai yang diberikan oleh *datasheet* sensor. Berikut proses pembacaan akuisisi data dari sensor-senor yang digunakan:

Akuisisi Data Sensor SHT11

Sensor SHT11 adalah suatu modul chip multi sensor suhu dan kelembaban yang menghasilkan keluaran digital, bedasarkan spesifikasi dari datasheet sensirion menghasilkan kesimpulan. Untuk membaca nilai suhu dan kelembaban pertama-tama adalah menentukan resolusi bit pengukuran sensor. Pada program ini resolusi bit dipilih 14 bit untuk suhu dan 12 bit untuk kelembaban yang merupakan *default* dari resolusi pengukuran SHT11 setelah itu melakukan pengukuran dengan memberikan perintah *command* untuk pembacaan suhu perintah "00011" sedangkan untuk pembacaan kelembaban menggunakan perintah "00101" pada pin DATA sensor.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	**00011**
Measure Humidity	**00101**
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11 ms before next command	**11110**

Gambar 1. *Command List* untuk SHT11.
(Sumber Sensirion, 2008. Datasheet *Humidity* dan *Temperature*)

Setelah memberikan *command* selanjutnya SHT11 melakukan pengukuran dan akan memberikan nilai ke mikrokontroller. Setelah menerima kode binner mikrokontroller selanjutnya akan mengubah binner ke desimal (val) dan dimasukkan ke perhitungan temperatur:

Temperature $= d_1 + d_2 * SO_T$
$= -40 + 0{,}01 * val$

VDD	d_1 [°C]	d_1 [°F]
5V	-40.00	-40.00
4V	-39.75	-39.55
3.5V(3)	-39.66	-39.39
3V(3)	-39.60	-39.28
2.5V(3)	-39.55	-39.19

SO_T	d_2 [°C]	d_2 [°F]
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

Gambar 2. Perhitungan suhu untuk SHT11.
(Sumber Sensirion, 2008. Datasheet *Humidity* dan *Temperature*)

Berikut ini adalah contoh pembacaan data sushu
Kode binner:
0001110001000011 = 7235
Temp =-40 + 0,01 * val
=-40 + 0,01 * 7235
= 32,35 C
Sedangkan perhitungan untuk kelembaban SHT11 adalah:
$RH = c_1 + c_2 * SO_{RH} + c_3 * SO_{RH}^2$
$= -4 + 0{,}0405 * val + (-0{,}0000028) * val^2$

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-4	0.0405	$-2.8 * 10^{-6}$
8 bit	-4	0.648	$-7.2 * 10^{-4}$

Gambar 3. Perhitungan Kelembaban SHT11.
(Sumber Sensirion, 2008. Datasheet *Humidity* dan *Temperature*)

Berikut ini adalah contoh pembacaan data kelembaban Kode binner:
0000011100011001= 1817
RH=-4+0,0405*1817+(-0,0000028) *3301489
= 60,34 %

Akuisisi Data Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 merupakan sebuah modul keluaran Dallas Semiconductor memiliki protocol 1Wire artinya proses pembacaan data dari sensor ke mokrokontroller hanya membutuhkan 1 kabel saja untuk antar mukanya, output dari sensor ini telah berupa suhu dalam satuan celcius, di mana dalam pembacaan sensor nya pertama-tama adalah mengalamatkan sensor pada mikrokontroller, selanjutnya mikrokontroller memberikan perintah reset bus, setelah itu melakukan inialisasi addrees 1 wire 0xCC perintah convert nilai suhu dengan perintah 0xBE, melakukan reset bus, mambaca data dari strachpad berupa data 16 bit MSB dan LSB pada ROM di dalam chip sensor dengan perintah *tempsensor.read* setelah mendapatkan data dikonveriskan ke nilai desimal setelah itu dilakukan perhitungan di bawah ini :

Temperature = data [1] (MSB) + (LSB) / 16

Berikut adalah contoh dimana penerimaan data dari rom 111100111 maka perhitungan nya:
111100111 = 487
Temperature = 487/16
= 30,4375 C

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

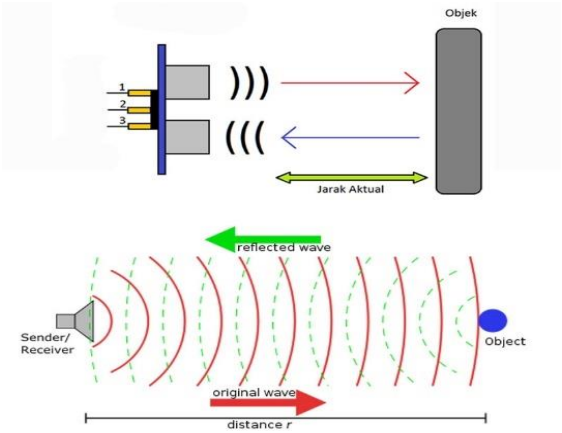
Gambar 4. Perbandingan data relationship DS18B20.
(Sumber 1-Wire Digital Thermometer www.maximintegrated.com)

Akuisisi Data Sensor HCSR04

Sensor ultrasonik HCSR04 keluaran elec freaks, untuk mendapatkan nilai jarak sensor mengeluarkan gelombang ultrasonic yang dibangkitkan melalui sebuah alat yang disebut Piezoelektrik dengan frekuensi tertentu.

Piezoelektrik ini menghasilkan gelombang ultrasonik berfrekuensi 40kHz. Secara umum, alat ini akan menembakkan gelombang ultrasonik menuju suatu area atau suatu target. Setelah gelombang menyentuh permukaan target, maka akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Gelombang pantulan dari target akan ditangkap oleh sensor, kemudian sensor menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima.

Cara menggunakan alat ini adalah ketika kita memberikan tegangan positif pada pin Trigger selama 10uS, maka sensor akan mengirimkan 8 step sinyal ultrasonik dengan frekuensi 40kHz. Selanjutnya sinyal akan diterima pada pin Echo. Untuk mengukur jarak benda yang memantulkan sinyal tersebut, maka selisih waktu ketika mengirim dan menerima sinyal digunakan untuk menentukan jarak benda tersebut. Berikut adalah contoh perhitungan mengukur jarak dari sensor:



Gambar 5. Perhitungan Jarak untuk HCSR04. (Sumber www.howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2015/07/Ultrasonic-Sensor-Equasions.png)

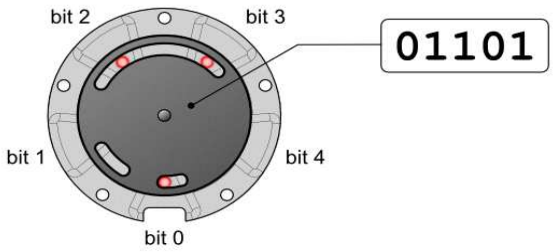
Percobaan jarak sensor HCSR04 dengan benda adalah 100 cm diketahui pembacaan waktu pada mikrokontroller adalah 5882us, maka perhitungan nya sebagai berikut:

S = t x V/2

Dimana :
s = adalah jarak sensor dengan titik pantulan
t = timer pembacaan mikrokontroller (us)
v = kecepatan suara(m/s)

Akuisisi Data Sensor Wind direction

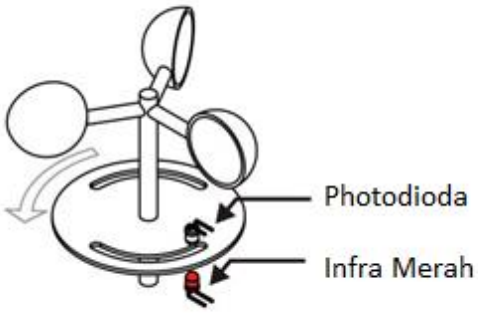
Pada sistem yang dibangun untuk sensor wind direction menggunakan metode *grey code encoder* yaitu mengkodekan nilai nilai bit-bit sehingga menghsilkan nilai derajat, untuk sensor nya menggunakan 5 (lima) pasang *photodioda* dan *infrared* atau bisa disebut dengan *optocoupler.* Data analog dari *optocoupler* selanjutnya diubah menjadi sinyal digital menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) dari mikrokontroller sehingga menghasilkan nilai binary yang nantinya nilai *binary* tersebut akan diubah menjadi 0^0 sampai 348^0. Berikut adalah bentuk rotary encodernya



Gambar 6.Perhitungan nilai derajat *wind direction.* (Sumber_http://www.yotopuce.com/EN/article/how-to-measure-wind-part-1)

Akuisisi Data Sensor Wind Speed

Untuk sensor *wind speed* sama halnya dengan *wind direction*, sensor yang digunakan adalah *optocoupler* di mana untuk windspeed hanya menggunakan 1 buah *optocoupler*, sinyal dari *optocoupler* diubah ke dalam sinyal digital sehingga menghasilkan pulsa "010101". Data tersebut diubah menggunakan perhitungan di bawah ini menggunakan *Mikrokontroller*:



Gambar 7. Perhitungan nilai wind speed. (Sumber_http://www.yotopuce.com/EN/article/how-to-measure-wind-part-1)

Berikut adalah contoh perhitungan konversi nilai kecepatan angin menggunakan Mikrokontroller. Pertama adalah mencari rotasi permenit atau RPM :

RPM=((counter/4) *60) / (period/1000)

Setelah mengetahui nilai RPM langkah selanjutnya adalah mengubah nilai RPM ke dalam m/s dimana perhitungan nya adalah sebagai berikut:
m/s = ((2 * pi * radius * RPM)/60) / 1000

setelah mengetahui nilai kecepatan dalam m/s langkah selanjutnya adalah mengkonversi nilai tersebut ke dalam knot, perhitungan konversi sebagai berikut

knot = ((((2 * pi * radius * RPM)/60) / 1000) *1.94).

Akuisisi Data Sensor BMP180

Sensor tekanan BMP180 adalah sensor keluaran BOSCH SENSORTEC yang telah dikalibrasi oleh pabrikan, sensor BMP180 juga dapat untuk mengukur suhu tetapi dalam penelitian ini hanya parameter tekanan yang digunakan, pengaksesan data tekanan dengan menggunakan komunikasi I2C, untuk mengetahui nilai tekanan pertama-tama adalah dengan membaca nilai variabel-variabel yang telah disimpan di EEPROM sensor, berikut di bawah ini adalah gambar nilai variabelnya

Read calibration data from the E²PROM of the BMP180	
read out E²PROM registers, 16 bit, MSB first	
AC1 (0xAA, 0xAB)	(16 bit)
AC2 (0xAC, 0xAD)	(16 bit)
AC3 (0xAE, 0xAF)	(16 bit)
AC4 (0xB0, 0xB1)	(16 bit)
AC5 (0xB2, 0xB3)	(16 bit)
AC6 (0xB4, 0xB5)	(16 bit)
B1 (0xB6, 0xB7)	(16 bit)
B2 (0xB8, 0xB9)	(16 bit)
MB (0xBa, 0xBB)	(16 bit)
MC (0xBC, 0xBD)	(16 bit)
MD (0xBE, 0xBF)	(16 bit)

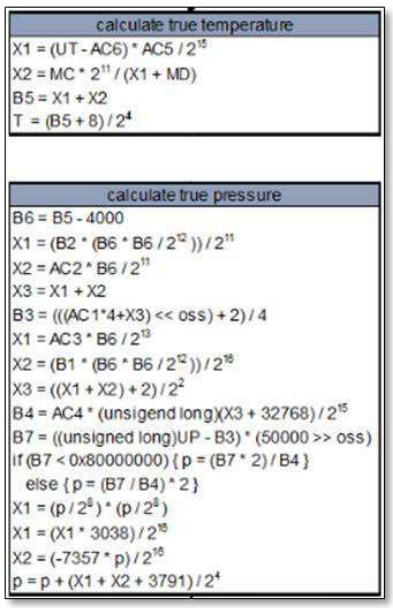
Gambar 8. Variabel EEPROM BMP180. (Sumber_https://aebst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BSTBMP180DS000.pdf)

Setelah membaca nilai variabel kalibrasi selanjutnya menghitung nilai *uncompensated temperature (UT)* dan *uncompensated pressure (UP)* yang nantinya UT dan UP merupakan nilai awal untuk menghitung nilai suhu dan tekanan yang sebenarnya, berikut adalah proses mendapatkan nilai UT dan UP.

read uncompensated temperature value
write 0x2E into reg 0xF4, wait 4.5ms
read reg 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB)
UT = MSB << 8 + LSB
read uncompensated pressure value
write 0x34+(oss<<6) into reg 0xF4, wait
read reg 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB), 0xF8 (XLSB)
UP = (MSB<<16 + LSB<<8 + XLSB) >> (8-oss)

Gambar 10. Perhitungan UT dan UP (Sumber_https://aebst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BSTBMP180DS000.pdf)

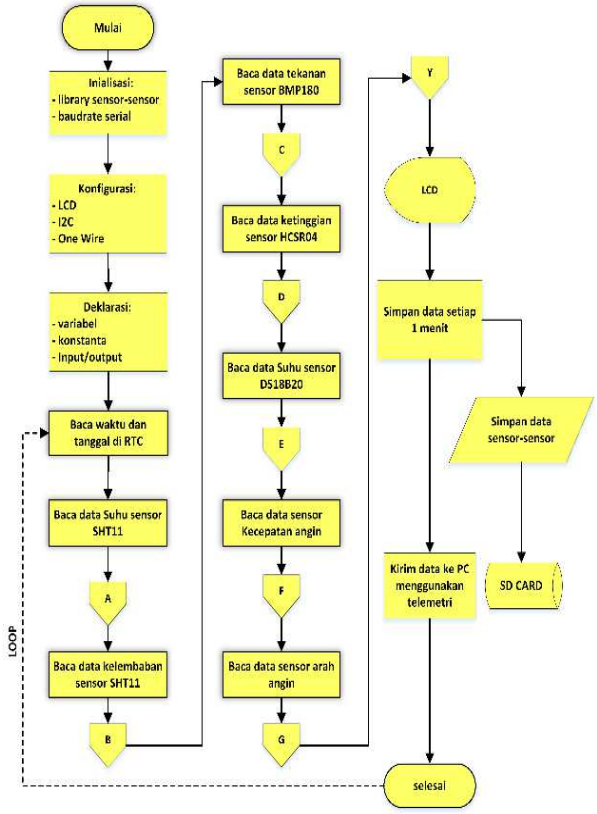
Setelah mendapatkan nilai-nilai variabel diatas maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk menentukan nilai suhu dan tekanan yang sebenarnya berikut adalah perhitungan untuk mencari nilai suhu dan tekanan.

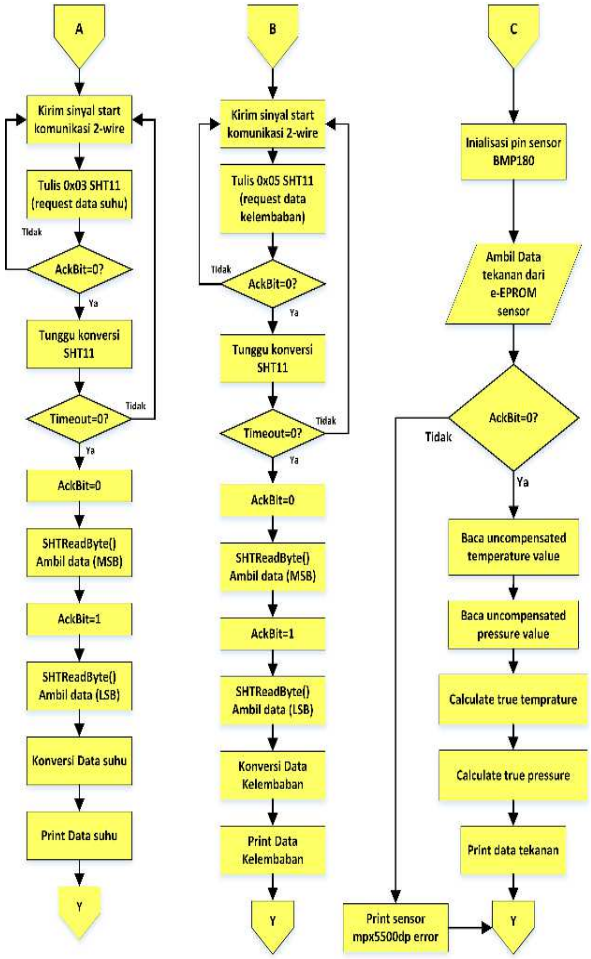


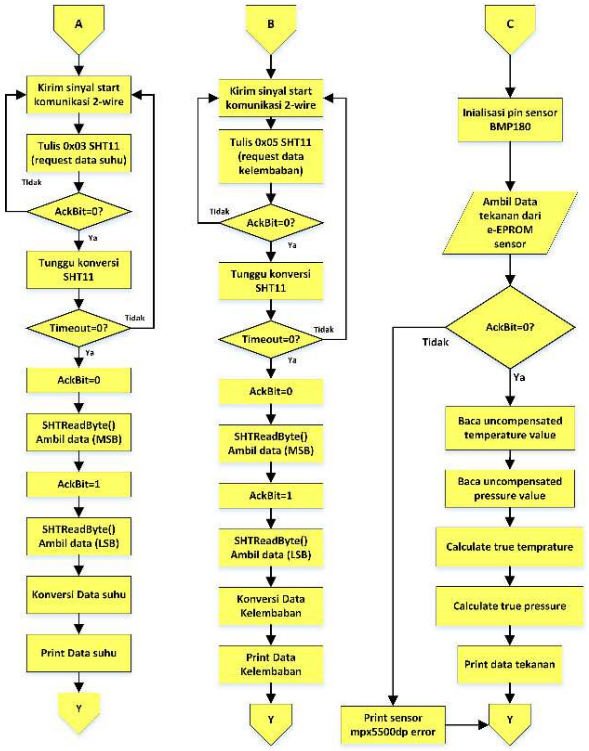
Gambar 11. Perhitungan tekanan (Sumber_https://aebst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BSTBMP180DS000.pdf)

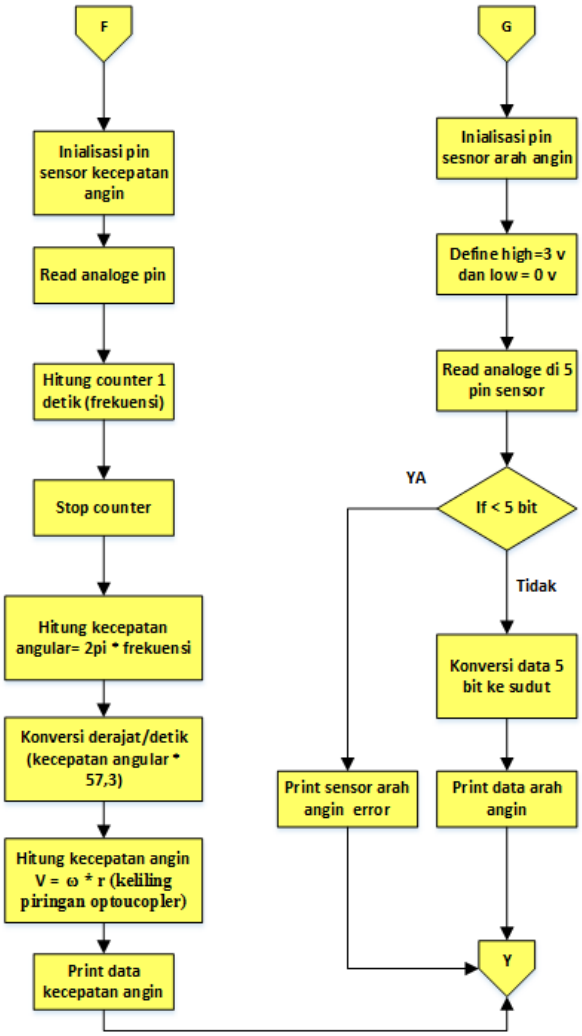
Blok Diagram Alat

Diagram alir akuisi data merupakan hal yang penting dalam pembuatan sistem auotomatic weather system maritime karena dapat mempermudah dalam merancang sebuah system. Diagram alir penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat seperti diagram alir di bawah ini:









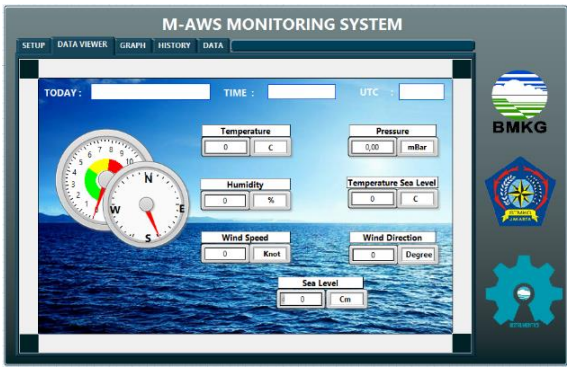
Gambar 12. Blok Diagram Sistem.

Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan sistem adalah terbetuknya sebuah sistem pengamatan cuaca otomatis tetap maritim dengan parameter suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, arah dan kecepatan angin, water level atau ketinggian air laut, dan suhu air laut. Memiliki komunikasi nirkabel, untuk data hasil pengamatan bisa dilihat pada layar lcd 20x4, terdapat penyimpanan sementara atau memory sebesar 8gb digunakan untuk membackup data apabila dalam komunikasi data telemetry mengalami gangguan. Berikut hasil dari perancangan sistem yang telah dibuat.

Gambar 13. Hasil perancangan sistem Perangkat keras.

Berikut merupakan hasil program interface yang dibuat Menggunakan LabView dengan metode *real time transceiver* untuk menampilkan data dari *hardware* melalui komunikasi nirkabel:



Gambar 14. Rancangan tampilan Software.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode kalibrasi yang telah diterapkan di laboratorium Pusat Laboratorium Kalibrasi Peralatan Meteorologi BMKG Pusat, dengan berpedoman pada Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Nomor 23 Tahun 2015 (Tata Cara Tetap Pelaksanaan Kalibrasi Peralatan Pengamatan Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika).

Tujuan dilakukan Kalibrasi digunakan untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan dari data yang dihasilkan alat dan nilai yang dikeluarkan oleh alat operasional yang telah dikalibrasi, di mana hasil pengujian selanjutnya dapat digunakan untuk memberikan nilai koreksi pada sistem maritime automatic weather station (M-AWS)

Pengujian Sensor Suhu SHT11 dan Sensor DS18B20

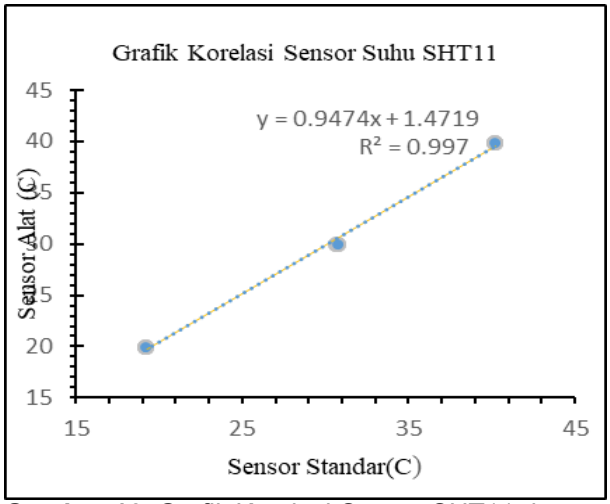
Pengujian parameter suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, suhu air laut, arah dan kecepatan angin dilakukan di pusat lab kalibrasi peralatan meteorologi BMKG pusat, kalibrasi sensor suhu udara SHT11 menggunakan *chamber Kalibrator Theodor Friedrichs,* dengan

sensor standar Fluke Hart Scientific Thermometer Type 1502A. Proses pengambilan suhu dilakukan dengan mengambil tiga set poin, yaitu 20 ºC, 30 ºC dan 40 ºC.

Gambar 15. Proses kalibrasi Suhu Sensor SHT11 dan DS18b20.

Tabel 1. Data hasil kalibrasi sensor suhu SHT11

Set point	Standar			Alat	
	Data	Koreksi	temp	Data	Koreksi
20C	19.93	-0.003	19.93	19.16	-0.8
	19.94	-0.003	19.94	19.18	-0.8
	19.95	-0.003	19.95	19.20	-0.7
	19.95	-0.003	19.95	19.23	-0.7
30C	29.93	-0.005	29.93	30.66	0.7
	29.94	-0.005	29.94	30.70	0.8
	29.95	-0.005	29.95	30.75	0.8
	29.95	-0.005	29.95	30.75	0.8
40C	39.90	-0.008	39.89	40.19	0.3
	39.90	-0.008	39.89	40.19	0.3
	39.89	-0.008	39.88	40.18	0.3
	39.88	-0.008	39.87	40.16	0.3
Rata-Rata Koreksi					0.11



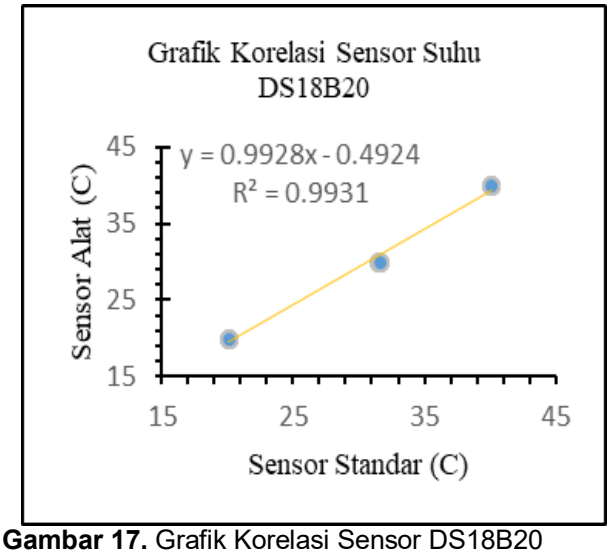
Gambar 16. Grafik Korelasi Sensor SHT11 dengan Standar.

Berdasarkan Gambar 16, grafik tersebut memiliki hubungan kuat antara sensor dengan alat standar, dan dari hasil kalibrasi Tabel 1 dapat diketahui bahwa data dari sensor suhu udara SHT11 memiliki penyimpangan rata-rata sebesar 0.11ºC, sehingga tidak perlu memberikan nilai koreksi pada sistem dikarenakan penyimpangan masih berada dalam toleransi yang dikeluarkan *oleh* WMO dan BMKG untuk parameter suhu udara adalah sebesar 0.2 ºC.

Kalibrasi sensor suhu air DS18B20 menggunakan *chamber* Kalibrator *Theodor Friedrichs,* menggunakan sensor standar *Fluke Hart Scientific Thermometer Type* 1502A. Proses pengambilan suhu dilakukan dengan mengambil tiga set poin, yaitu 20 ºC, 30 ºC dan 40 ºC.

Tabel 2. Data Hasil Kalibrasi Sensor DS18B20

Set point	Standar			Alat	
	Data	Koreksi	temp	Data	Koreksi
20C	19.93	-0.003	19.93	20.12	0.19
	19.93	-0.003	19.93	20.12	0.19
	19.92	-0.003	19.92	20.19	0.27
	19.92	-0.003	19.92	20.19	0.27
30C	29.95	-0.005	29.95	31.56	1.62
	29.95	-0.005	29.95	31.56	1.62
	29.96	-0.005	29.96	31.69	1.74
	29.97	-0.005	29.97	31.69	1.73
40C	39.90	-0.008	39.89	40.13	0.24
	39.91	-0.008	39.90	40.13	0.23
	39.90	-0.008	39.89	40.13	0.24
	39.90	-0.008	39.89	40.13	0.24
Rata-Rata Koreksi					0.7



Gambar 17. Grafik Korelasi Sensor DS18B20 dengan Standar.

Hasil kalibrasi diketahui bahwa data dari sensor suhu air DS18B20 memiliki penyimpangan sebesar 0.7C. Bedasarkan gambar 17 diketahui bahwa sensor memiliki hasil yang cukup linier, namun masih diluar toleransi nilai yang diperbolehkan WMO dan BMKG yaitu sebesar 0.2. Sehingga perlu memberikan nilai koreksi pada sistem.

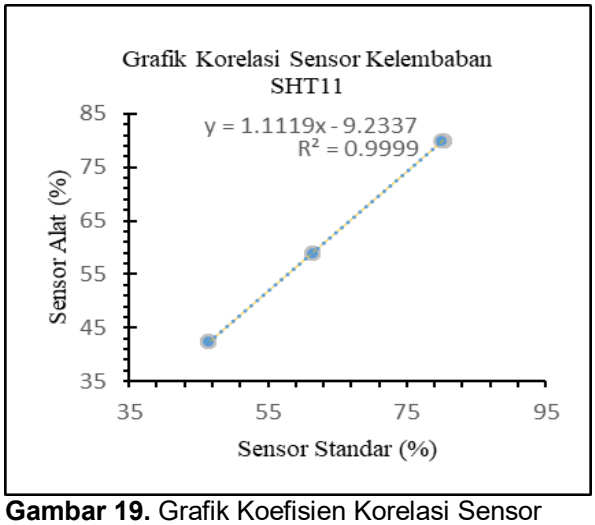
Pengujian Sensor Kelembaban SHT11

Kalibrasi sensor SHT11 untuk parameter kelembaban menggunakan *chamber Kalibrator Theodor Friedrichs*, dengan menggunakan sensor standar Fluke Hart Scientific Thermometer Type 1502A. Proses pengambilan suhu dilakukan mengambil tiga set poin, yaitu 40%, 60% dan 80%.

Gambar 18. Proses kalibrasi kelembaban.

Tabel 3. Data Hasil Kalibrasi Sensor Kelembaban

Set point	Standar			Alat	
	Data	Koreksi	RH	Data	Koreksi
40%	42.50	-0.01	42.49	46.45	3.96
	42.50	-0.01	42.49	46.45	3.96
	42.47	-0.01	42.46	46.42	3.96
	42.48	-0.01	42.47	46.43	3.96
60%	58.89	-0.03	58.86	61.37	2.51
	58.90	-0.03	58.87	61.37	2.50
	58.90	-0.03	58.87	61.37	2.50
	58.90	-0.03	58.87	61.40	2.53
80%	80.04	-0.05	79.99	80.29	0.30
	80.04	-0.05	79.99	80.29	0.30
	80.03	-0.05	79.98	80.17	0.19
	80.04	-0.05	79.99	80.00	0.01
Rata-Rata Koreksi					2.22



Gambar 19. Grafik Koefisien Korelasi Sensor SHT11 dengan standar.

Hasil kalibrasi pada Tabel 3 maka dapat diketahui bahwa data dari Sensor Kelembaban udara SHT11 memiliki penyimpangan rata-rata sebesar 2.22%, Sehingga tidak perlu memberikan nilai koreksi pada sistem dikarenakan penyimpangan masih berada dalam toleransi yang dikeluarkan oleh WMO dan BMKG untuk parameter kelembaban udara adalah sebesar 3%.

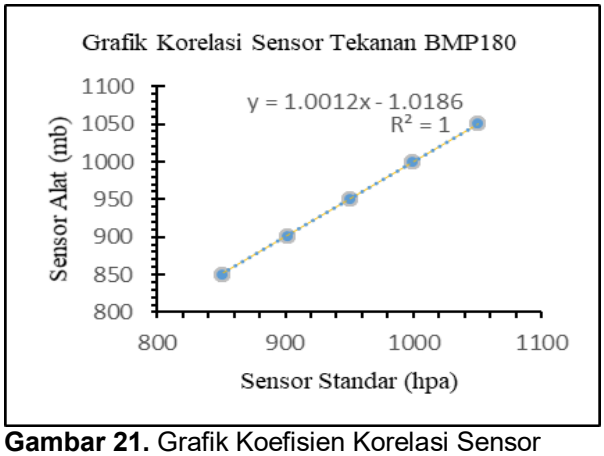
Pengujian Sensor Tekanan BMP180

Kalibrasi sensor tekanan BMP180 menggunakan chamber Kalibrator Theodor Friedrichs, menggunakan sensor standar paroscientifiesc. Proses pengambilan data tekanan udara dilakukan dengan mengambil 5 (lima) set poin, yaitu 850 hpa, 900 hpa, 950 hpa, 1000 hpa dan 1050 hpa.

Gambar 20. Proses kalibrasiTekanan Sensor BMP180.

Tabel 4. Data Hasil Kalibrasi Sensor BMP180

Set point	Standar (Hpa)		Alat (Hpa)	
	Data	Pressure	Data	Koreksi
850	850.36	850.39	850.41	0.02
	850.36	850.39	850.40	0.01
	850.36	850.39	850.39	0.00
	850.36	850.39	850.36	-0.03
900	901.66	901.69	901.56	0.10
	901.66	901.69	901.66	0.00
	901.66	901.69	901.65	0.01
	901.66	901.69	901.66	0.00
950	950.05	950.07	950.02	-0.05
	950.05	950.07	950.04	-0.03
	950.05	950.07	950.02	-0.05
	950.05	950.07	950.05	-0.02
1000	999.53	999.57	999.42	-0.15
	999.53	999.57	999.43	-0.14
	999.53	999.57	999.42	-0.15
	999.53	999.57	999.45	-0.12
1050	1050.50	1050.55	1050.30	-0.24
	1050.50	1050.55	1050.30	-0.24
	1050.50	1050.55	1050.30	-0.24
	1050.50	1050.55	1050.27	-0.27
Rata-Rata Koreksi				-0.07

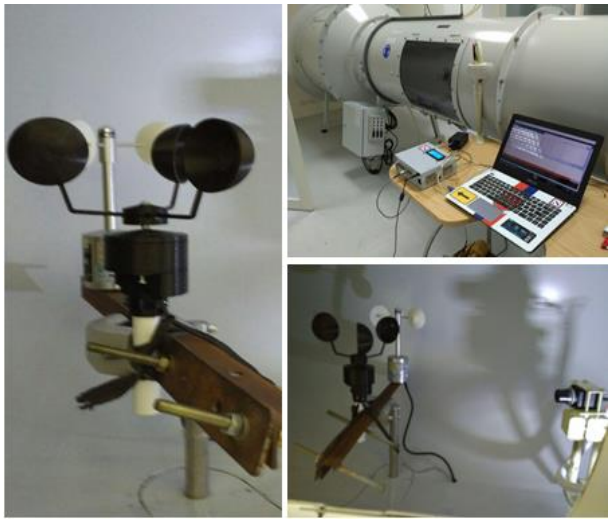


Gambar 21. Grafik Koefisien Korelasi Sensor BMP180 dengan standar.

Dari Tabel 4 diketahui bahwa data dari Sensor Tekanan udara BMP180 memiliki penyimpangan rata-rata sebesar 0,079 hpa, sehingga tidak perlu memberikan nilai koreksi pada sistem dikarenakan penyimpangan masih berada dalam toleransi yang dikeluarkan oleh WMO dan BMKG untuk parameter Tekanan udara adalah sebesar 0,1 hpa.

Pengujian Sensor Wind Speed

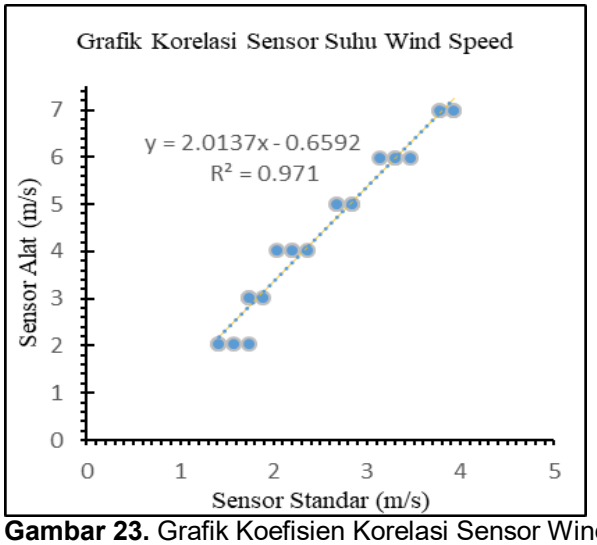
Kalibrasi sensor Wind speed menggunakan *Wind tunnel* Kalibrator *Theodor Friedrichs,* menggunakan sensor standar. Dengan memberikan set point sebesar 2, 3, 4, 5, 6, 7 m/s.



Gambar 22. Proses kalibrasi Sensor *Wind Speed*

Tabel 5. Data Hasil Kalibrasi Sensor *Wind Speed*

Set point	Standar			Alat	
	Data	Koreksi	m/s	Data	Koreksi
2m/s	2.05	-0.02	2.03	1.41	0.64
	2.05	-0.02	2.03	1.73	0.32
	2.05	-0.02	2.03	1.57	0.48
	2.05	-0.02	2.03	1.41	0.64
3m/s	3.04	-0.03	3.01	1.88	1.16
	3.04	-0.03	3.01	1.73	1.31
	3.04	-0.03	3.01	1.73	1.31
	3.04	-0.03	3.01	1.73	1.31
4m/s	4.02	0.00	4.02	2.04	1.98
	4.02	0.00	4.02	2.20	1.82
	4.02	0.00	4.02	2.36	1.66
	4.02	0.00	4.02	2.20	1.82
5m/s	5.01	0.00	5.01	2.83	2.18
	5.01	0.00	5.01	2.67	2.34
	5.01	0.00	5.01	2.67	2.34
	5.01	0.00	5.01	2.83	2.18
6m/s	5.99	0.00	5.99	3.30	2.69
	5.99	0.00	5.99	3.14	2.85
	5.99	0.00	5.99	3.30	2.69
	5.99	0.00	5.99	3.46	2.53
7m/s	6.98	0.01	6.99	3.93	3.05
	6.98	0.01	6.99	3.77	3.21
	6.98	0.01	6.99	3.77	3.21
	6.98	0.01	6.99	3.93	3.05
Rata-Rata Koreksi					2.22

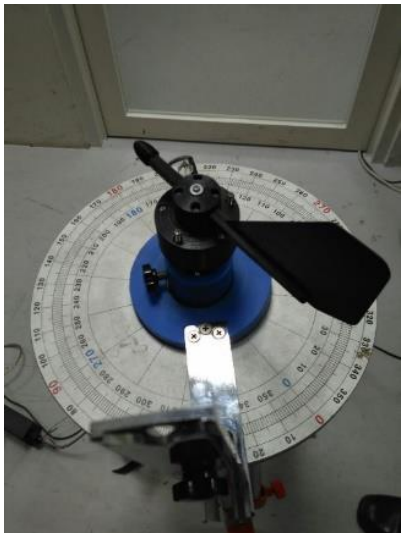


Gambar 23. Grafik Koefisien Korelasi Sensor Wind Speed dengan standar.

Dari Tabel 5 diketahui bahwa data dari sensor wind speed memiliki treshold nilai sebesar 2 m/s yang artinya bahwa sensor wind speed memiliki skala awal pembacaan sebesar 2 m/s. Dari gambar 19 diketahui bahwa sensor memiliki akurasi data yang linier dengan sensor standar tetapi juga sensor ini memiliki penyimpangan rata-rata 1.95 m/s, dikarenakan penyimpangan dalam toleransi yang dikeluarkan oleh WMO dan BMKG untuk parameter kecepatan angin adalah sebesar 0.5 m/s maka perlu dilakukan nya koreksi pembacaan dalam sistem.

Pengujian sensor Wind Direction

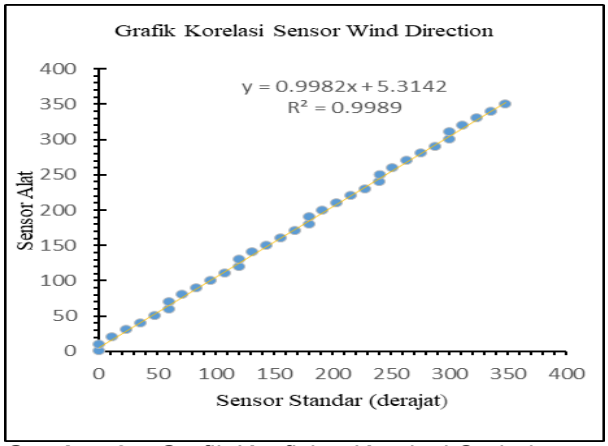
Kalibrasi sensor Wind direction menggunakan cara manual menggunakan busur, berikut adalah gambar kalibratornya.



Gambar 24. Proses kalibrasi Wind Direction

Tabel 6. Hasil Kalibrasi Sensor wind Direction

No	Standar (derajat)	Alat (derajat)	Koreksi
1	0	0	0
2	10	0	-10
3	20	12	-8
4	30	24	-6
5	40	36	-4
6	50	48	-2
7	60	60	0
8	70	60	-10
9	80	72	-8
10	90	84	-6
11	100	96	-4
12	110	108	-2
13	120	120	0
14	130	120	-10
15	140	132	-8
16	150	144	-6
17	160	156	-4
18	170	168	-2
19	180	180	0
20	190	180	-10
21	200	192	-8
22	210	204	-6
23	220	216	-4
24	230	228	-2
25	240	240	0
26	250	240	-10
27	260	252	-8
28	270	264	-6
29	280	276	-4
30	290	288	-2
31	300	300	0
32	310	300	-10
33	320	312	-8
34	330	324	-6
35	340	336	-4
36	350	348	-2



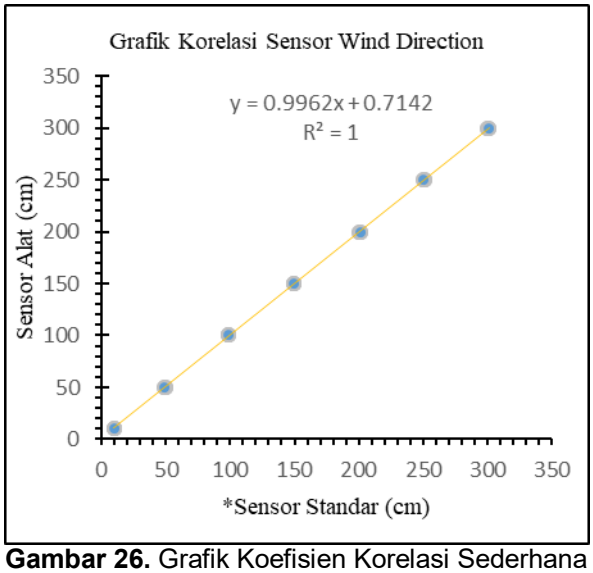
Gambar 25. Grafik Koefisien Korelasi Sederhana Sensor Wind direction

Tabel 6 dapat diketahui bahwa data dari Sensor wind direction memiliki penyimpangan yang berbeda hal ini dikarenakan sensor wind direction memiliki resolusi sebesar 12 derajat. Standar penyimpangan yang di tetapkan BMKG adalah sebesar 5 derajat. Sehingga perlu adanya sensor yang memiliki resolusi 1 derajat untuk pengukurannya.

Pengujian Sensor HCSR04

Pengujian Sensor HCSR04 untuk parameter ketinggian air dilakukan di lab Instrumentasi STMKG dengan menggunakan mistar standar. Proses pengujian ini dilakukan dengan menggunaka beberapa sampel jarak yaitu 10 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm.

Set point	Standar (derajat)	Alat (derajat)	Koreksi
10cm	10	10	0
	10	10	0
	10	10	0
	10	10	0
50cm	50	50	0
	50	50	0
	50	49	1
	50	49	1
100cm	100	99	1
	100	99	1
	100	99	1
	100	99	1
	100	99	1
150cm	150	149	1
	150	149	1
	150	149	1
	150	149	1
200cm	200	200	0
	200	201	-1
	200	200	0
	200	201	-1
250cm	250	250	0
	250	251	-1
	250	251	-1
	250	250	0
300cm	300	300	0
	300	300	0
	300	301	-1
	300	301	-1
Rata-Rata Koreksi			1



Gambar 26. Grafik Koefisien Korelasi Sederhana Sensor HCSR04.

Hasil dari pengujian terlihat dalam Gambar 26 dari pengujian ini didapatkan nilai perbandingan antara sensor jarak HCSR04 dengan alat standar memiliki akurasi data yang linier.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Pengukuran suhu udara dengan sensor SHT11 diperoleh penyimpangan pengukuran sebesar 0,11 ^{0}C dan untuk kelembaban udara penyimpangan sebesar 2,22 %.
- Pengukuran suhu air laut dengan sensor DS18B20 diperleh penyimpangan sebesar 0,7 ^{0}C.
- Pengukuran tekanan udara dengan sensor BMP180 diperoleh penyimpangan pengukuran sebesar 0,07 hpa.
- Pengukuran kecepatan angin dengan menggunakan sensor *wind speed* diperoleh penyimpangan yang besar yaitu 1,95 m/s dan memiliki treshold yang cukup besar yaitu 2,05 m/s atau 3,98 knot.
- Pengukuran Arah angin dengan menggunakan sensor *wind direction* ditemukan bahwa sensor memiliki resolusi sebesar 12 derajat.
- Sedangkan untuk pengukuran jarak dengan sensor HCSR04 didapatkan nilai *error* sebesar 1 cm.

Berdasarkan hasil pengujian di atas maka dapat diketahui bahwa alat *Maritime Automatic Weather Station* (M-AWS) telah bekerja dengan baik dan telah memenuhi toleransi yang diberikan oleh WMO dan BMKG

Daftar Pustaka

Ahmad, A. 2007. Another Perspective in Generating and Using Gray Code-word.*Jurnal Elektrika.* 9(2).

Bosch Sensortec. 2015. Datasheet BMP180. *https://aebst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP180-DS000.pdf*, diakses 3 Februari 2016)

Geneva. 2008. *Guide To Meteorogical Instruments And Methods of Observation Sevent Edition*. World Meteorogical Organization. Switzerland.

Lukito, Ibnu Sofwan. 2010. *Automatic Evaporation Station (AES).* Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.

Toruan, Kanton Lumban. 2009. *Automatic Weather Station (AWS)* Berbasis *Mikrokontroller*. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Nomor 23 Tahun 2015. Tata Cara Tetap Pelaksanaan Kalibrasi Peralatan Pengamatan Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika.

Sensirion. 2008. Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity & Temperature Sensor. (*https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x_datasheet.pdf*, diakses tanggal 17 Januari 2016)

Maximintegrated. 2015. Datasheet DS18B20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer.19-5474, Rev 3, 4/15 (*https://datasheets.maximintegrated.com*, diakses 3 Pebruari 2016)

Megasains, Vol. 10, No. 1, 20-25
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
© GAW BKT, 2019

Karakteristik Pola Sambaran Petir *Cloud to Ground* (CG) di Wilayah Subulussalam

Anang Heriyanto[12], Didik Sugiyanto[1], dan Faisal[1]

[1]Program Studi Magister Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala
[2] BMKG Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Iskandar Muda, Banda Aceh

Abstrak. Subulussalam terletak didekat ekuator tidak menutup kemungkinan banyak pertumbuhan awan konvektif aktif yang mengakibatkan terjadinya petir. Penelitian bertujuan mengkaji hubungan antara petir *CG (Cloud to Groud)* dengan pola curah hujan di Subulussalam dengan menggunakan metode korelasi pearson, nilai IKL dan SIG untuk pemetaan kerapatan sambaran petir. Hasil analisis curah hujan diketahui wilayah Subulussalam mempunyai pola ekuatorial yang dicirikan ada dua puncak curah hujan yaitu pada bulan Maret-April dan Oktober-November. Hubungan antara petir CG dengan curah hujan mempunyai hubungan yang cukup erat dengan nilai korelasi r = 0.5. Nilai *Isoceraunic Level* (IKL) untuk wilayah Subulussalam termasuk dalam klasifikasi rawan petir sangat tinggi dengan nilai antara 59.72% - 85.48%. Dari analisis spasial terlihat bahwa wilayah Subulussalam mempunyai aktifitas petir yang cukup tinggi untuk wilayah Kecamatan Simpang Kiri, Longkip, Penanggalan dan Sultan Daulat.
Kata kunci: Petir, CG, Curah Hujan

Pendahuluan

Petir merupakan gejala listrik alami dalam atmosfer bumi yang tidak dapat dicegah (Pabla, 1981 dan Hidayat, 1991) berupa kilatan cahaya biasanya terjadi pada awan *Cumulunimbus* (Cb). Dalam setiap sambaran petir dapat berupa muatan positif atau muatan negatif tergantung pada pergerakan awal muatan atau akhir dari pergerakan muatan tersebut. Berdasarkan tempatnya , pelepasan muatan listrik terjadi di dalam satu awan (inter Cloud, IC) antara awan dengan awan (Cloud to Cloud, CC) ataupun dari awan ke bumi (Loud to Ground, CG), Pabla (1981) dan Price (2008). Petir awan ke tanah *(Cloud to Ground / CG)* merupakan jenis petir yang sangat berbahaya dan sifatnya merusak. Proses terjadinya petir ini terjadi karena adanya pelepasan muatan negatif atau positif pada awan lapisan bawah ke bumi.

Secara geografis Subulussalam terletak pada 02° 27’ 30” – 03° 00’ 00” LU dan 097º 45’ 00” – 98° 10’ 00” BT, serta mempunyai iklim tropis lembab dan hangat. Hal ini akan sering terjadi hujan deras, angin kencang disertai petir melanda daerah tersebut. Letak geografis Subulussalam yang berada di dekat Khatulistiwa dimana di daerah tersebut terdapat kombinasi massa udara yang hangat dan lembab akan menjadikan daerah ini sangat berpotensi sebagai tempat pertumbuhan awan konvektif. Selain itu pengaruh ekuatorial yang sangat kuat menjadikan daerah Subulussalam mengalami musim hujan yang terjadi hampir sepanjang tahun, hujan deras yang disertai angin kencang dan petir dapat terjadi kapan saja.

Wilayah Subulussalam memiliki topografi dataran rendah yang jumlahnya mencapai 65,94% dan sisanya merupakan perbukitan sebesar 34,06%, serta berada pada ketinggian berkisar antara 25 meter sampai dengan 120 meter di atas permukaan laut. Dengan adanya wilayah yang berbukit-bukit dan bergunung-gunung maka akan menyebabkan angin yang membawa uap air dipaksa naik sehingga terjadi kondensasi dan menimbulkan hujan orografis.

Kota Subulussalam merupakan salah satu kota yang sering terjadi sambaran petir sehingga sangat mengkhawatirkan masyarakat dalam beraktifitas. Menurut Pemerintah Kota Subulussalam dalam kurun waktu kurang lebih lima tahun terakhir sekitar 30 orang terkena sambaran petir yang disertai hujan lebat di wilayah tersebut. Sambaran Petir juga dapat merusakkan peralatan elektronik seperti yang dipergunakan dalam peralatan industri, perbankan, instalasi penting (seperti halnya Telkom, PLN dan instalasi yang menggunakan komputer, dsb), yang semuanya dapat mengakibatkan kerugian. Dalam hal ini berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut, dengan demikian dibutuhkan suatu sistem untuk dapat memberikan informasi klimatologi pola curah hujan serta sambaran petir di daerah Subulussalam.

a_nang84@yahoo.com

Pemetaan kerapatan petir sangat penting untuk mengurangi dampak bahaya yang ditimbulkan dari sambaran petir. Namun demikian peta kerapatan petir untuk wilayah Subulussalam belum ada hingga saat ini. Bisa saja kejadian sambaran petir akan terulang karena kurangnya pengetahuan masyarakat tentang keamanan daerah tempat tinggal mereka dari sambaran petir. Untuk melihat tingkat kerawanan bahaya sambaran petir menggunakan Sistem Informasi Geografis untuk menghasilkan peta tematik dan peta akhir berupa peta informasi kerawanan bahaya sambaran dan kerapatan petir. Sistem informasi geografis dari distribusi sebaran dan kerapatan sambaran petir ini digunakan sebagai upaya untuk memberikan kontribusi dalam mengurangi dampak dan kerugian yang diakibatkan oleh sambaran petir tersebut.

Beberapa peneliti telah mengkaji kaitan antara curah hujan dan kilat/petir seperti Shackford (1960), Marshall dan Radhakant (1978), Usman (1987), Tapia dan Smith (1997). Septiadi, dkk (2011) menemukan bahwa proses elektrifikasi didominasi CG negatif dan puncak CG terjadi pada periode bulan Maret, April dan Mei dengan presentase CG total sekitar 43.6% dan proses elektrifikasi ini biasanya berlangsung antara pukul 15.00 – 17.00 WIB. Penelitian tentang metode estimasi curah hujan konvektif yang dibangun dari observasi *lightning* dilakukan oleh Piepgrass dan Krinder (1982) serta Buechler dan Goodman (1990). Price dan Murphy (2002) serta Zoro (1999) menyatakan bahwa *Cloud to Ground* negatif (-) lebih dominan ketika presipitasi terjadi.

Penelitian ini mengkaji hubungan antara petir dengan curah hujan yang bertujuan untuk mengetahui klimatologi curah hujan, karakteristik sambaran petir, menganalisis hubungan petir dengan curah hujan dan menghasilkan peta kerapatan petir. Guna untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan dari bahaya sambaran petir.

Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data petir selama 4 (empat) tahun yaitu dari tahun 2012 hingga 2015 menggunakan *Boltek Lightning Detector* yang terpasang di Stasiun Geofisika Parapat. Pengamatan aktifitas petir dilakukan menggunakan perangkat lunak Lightning2000 v 6,4 perangkat ini terhubung dengan sensor deteksi petir, sehingga setiap kejadian petir akan terdeteksi lokasi dan jumlah sambaran yang terjadi. Data yang diperoleh berupa waktu kejadian sambaran, data kordinat, jumlah sambaran dan jenis/tipe petir. Data tersebut selanjutnya diekstrak menjadi parameter CG baik CG+ maupun CG-. Data pendukung yang lain merupakan data curah hujan diperoleh melaui data pos hujan yang ada di wilayah Subulussalam. Dalam hal pengisian kekosongan data mengingat Pos Hujan berdiri belum cukup lama sehingga banyak kekosongan data curah hujan dan tidak dapat untuk mencari klimatologi curah hujan di daerah tersebut, maka untuk mengatasi hal ini dilakukan pengambilan data *CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data)* selama 35 tahun dari tahun 1981 hingga 2015 untuk wilayah kecamatan – kecamatan daerah Subulussalam.

Metode yang digunakan untuk mencari nilai curah hujan rata-rata bulanan dihitung dengan menggunakan metode statistik rata – rata *(mean)*. Metode ini digunakan untuk menghitung nilai rata-rata data yang merupakan nilai yang mewakili data tersebut dalam Spiegel, (1992).

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{xi}{n}$$

dimana ;

$\bar{x}$ = rata –rata curah hujan bulanan

n = jumlah data

x_i = data curah bulanan.

Thunderstorm Day atau Hari Guntur adalah hari ketika terjadinya atau tidak terjadinya Guntur. Garis yang mempunyai hari guntur yang sama disebut *Isoceraunic. Isoceraunic Level* didefinisikan: Jumlah hari guntur Ts dalam setahun dibagi 365 dikalikan 100 %. *Isoceraunic Level* (IKL) dalam rumus (Rozikan & Mira, 2013):

IKL = (ΣTs)/365 X 100 %

Berdasarkan nilai IKL yang telah diperoleh, maka dapat diketahui kerawanan sambaran petir suatu daerah menggunakan tabel kerawanan petir. Berikut adalah klasifikasi tingkat kerawanan sambaran petir berdasarkan nilai IKL.

Tabel 1. *Kerapatan sambaran petir berdasarkan IKL*

Klasifikasi Rawan Petir	Presentase IKL
Sangat Rendah	0 – 12.5%
Rendah	12.6% – 25%
Sedang	25.1% – 37.5%
Tinggi	37.6% – 50%
Sangat Tinggi	50% – 100%

Rozikan & Mira, 2013

Hubungan antara aktifitas sambaran petir CG dengan curah hujan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan analisis korelasi seperti yang dilakukan oleh Septiadi, dkk. (2011). Analisis korelasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah koefisien korelasi Pearson. Koefisien korelasi (r) digunakan untuk mengetahui kuat atau

lemahnya hubungan antara dua variabel atau lebih.

Tabel 2. *Interpretasi Korelasi*

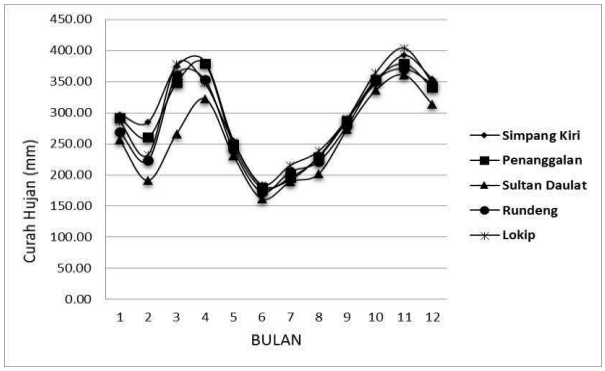
Interval koefisien	Tingkat hubungan
Sangat Rendah	0.00 – 0.199
Rendah	0.20 – 0.399
Sedang	0.40 – 0.599
Kuat	0.60 – 0.799
Sangat Kuat	0.80 – 1.000

Sugiono, 2007

Pemetaan kerapatan sambaran petir dibuat dengan menggunakan "*Format File grid*", dimana setiap grid diukur sebesar 1 x 1 km2 yang disebut dengan *Local Flash Density (LFD*), jika terdapat beberapa titik sambaran pada satu grid akan merubah warna yang ada pada peta sesuai seberapa banyak jumlah sambaran pada satu grid yang merupakan perhitungan probabilitas dari kerapatan sambaran petir. Kontur warna pada peta kerapatan tersebut terbagi menjadi tiga kontur warna. Tiga kontur warna pada peta tersebut adalah warna merah yang dikategorikan sebagai tingkat sambaran petirnya tinggi, warna kuning dikategorikan sebagai tingkat sambaran petirnya sedang, warna biru dikategorikan sebagai tingkat sambaran petirnya rendah. Untuk warna merah menunjukkan jumlah sambaran petir 8 – 12 kali sambaran per km² per tahun, warna kuning menujukkan jumlah sambaran 4 – 8 kali sambaran per km² per tahun, sedangkan warna hijau menunjukan jumlah sambaran 0 – 4 kali sambaran per km² per tahun

Hasil dan Pembahasan

Curah hujan rata-rata bulanan diperlukan karena untuk mengetahui tipe atau pola curah hujan di suatu daerah tertentu. Berdasarkan grafik rata-rata tersebut maka dapat diketahui normal curah hujan bulanan, dengan demikian dapat ditentukan puncak musim penghujan ataupun puncak musim kemarau.

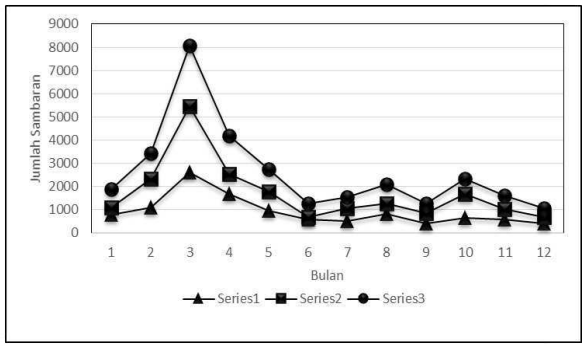


Gambar 1. *Grafik curah hujan rata – rata bulanan tahun 1981 - 2015*

Gambar 1 menunjukkan bahwa grafik curah hujan rata–rata bulanan di Subulussalam khususnya Kecamatan Simpang Kiri, Penanggalan, Sultan Daulat, Rundeng, Lokip. Dari data hasil analisis data curah hujan observasi dan data curah hujan CHIRPS selama 35 (tiga puluh lima) tahun yaitu dari tahun 1981 – 2015 dapat dilihat dari bentuk grafik curah hujan rata–rata di kecamatan tersebut distribusi curah hujan bulanannya membentuk huruf M. Puncak curah hujan terjadi dua kali dalam satu tahun puncak pertama pada bulan Maret-April dan puncak curah hujan kedua terjadi pada bulan November. Hal ini disebabkan karena pada bulan – bulan tersebut matahari berada di sekitar ekuator yang mengakibatkan adanya zona pertemuan antara dua masa udara berasal dari dua belahan bumi yang disebut Intertropical Convergence Zone (ITCZ).

ITCZ bergerak menuju ke arah utara saat musim panas di belahan bumi utara menuju selatan saat musim panas di belahan bumi selatan. Menurut Aldrian (2003) pola dua puncak (ekuatorial) dicirikan oleh pola hujan dengan bentuk dua puncak hujan (*bimodial*) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret-Mei dan Oktober-November.

.

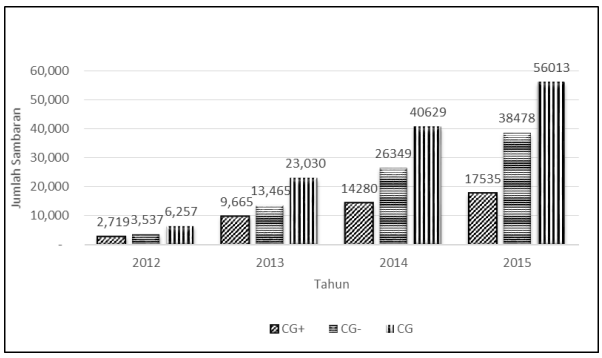


Gambar 2. *Pola sambaran petir CG*

Gambar 2 menunjukkan grafik klimatologi bulanan sambaran petir CG di wilayah Subulussalam. Grafik tersebut terlihat bahwa memiliki satu puncak kejadian sambaran petir CG dalam satu tahun, pada bulan Februari terjadi peningkatan jumlah sambaran petir dibandingkan bulan Januari dan diikuti naik yang cukup signifikan pada bulan Maret, bulan tersebut menjadikan puncak terjadi sambaran petir di wilayah Subulussalam.

Variasi puncak sambaran petir terjadi pada bulan Febuari hingga bulan Mei yaitu berkisar antara 2.749 – 8.067 sambaran. Hal ini menunjukkan pertumbuhan awan konvektif aktif yang berpotensi terjadi petir mendominasi tumbuh dibulan tersebut dibandingkan dengan bulan bulan yang lainnya. Dikarenakan kondisi udara yang labil dengan adanya *updraft* dan *downdraft*

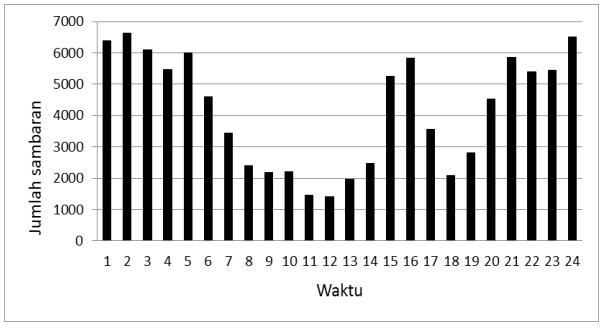
cenderung berimbang akan memicu proses tumbukan dalam awan semakin kuat sehingga terjadinya peningkatan aktifitas petir CG secara cepat. Sedangkan variasi sambaran pada bulan bulan yang lainnya yaitu pada bulan Juni sampai dengan Januari berkisar antara 1.073 – 2.328 sambaran. Pada bulan Desember merupakan bulan yang intensitas terjasi petirnya berkurang dibandingkan bulan – bulan yang lain namun demikian bulan tersebut untuk wilayah Subulussalam masih sering terjadi pertumbuhan awan – awan yang berpotensi petir. Kondisi udara yang stabil menjadi faktor berkurangnya aktifitas CG pada bulan tersebut. Terlihat pada bulan Desember masih terjadi sambaran petir sekitar 1.073 sambaran.



Gambar 3. *Aktifitas petir CG tahun 2012 - 2015*

Gambar 3 menunjukkan grafik aktifitas kejadian petir CG Tahunan di wilayah Subulussalam dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2015. Dari seluruh data jumlah sambaran petir yang terjadi pada setiap tahun terlihat bahwa terjadi peningkatan aktifitas petir di Subulussalam dari tahun ke tahun. Garis hijau menujukkan tren peningkatan aktifitas petir CG dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2015. Pada tahun 2012 terjadi sekitar 6.257 sambaran CG, CG- terjadi 3.537 sambaran sedangkan aktifitas petir CG+ terdapat 2.719 sambaran. Pada tahun 2013 terjadi 23.030 sambaran CG, CG- sekitar 13.465 sambaran dan CG+ terjadi 9.665 sambaran sedangkan pada tahun 2014 terjadi 40.629 sambaran CG, 26.349 sambaran CG- dan 14.280 sambaran CG+.

Tahun 2015 terdapat 56.013 sambaran untuk CG, 38.478 sambaran CG- serta 17.535 sambaran CG+. Tahun 2015 merupakan tahun yang memiliki kejadian sambaran petir terbanyak yaitu sekitar 45% dari total kejadian, sedangkan sambaran terendah terjadi pada tahun 2012 yaitu sekitar 5%. Pada tahun 2013 sekitar 18% dan pada tahun 2014 sekitar 32%. Hal ini menunjukkan pada tahun 2015 awan berpotensi petir sering terjadi di wilayah Subulussalam.



Gambar 4. *Aktifitas petir CG harian*

Berdasarkan pola distribusi harian (setiap jam) kejadian CG pada tahun 2012 hingga tahun 2015 yang ditunjukkan pada Gambar 4 terlihat bahwa terdapat tiga puncak akifitas petir CG di wilayah Subulussalam yaitu terjadi pada sore, malam dan tengah malam. Aktifitas petir CG pada siang hari dominan terjadi peningkatan pada pukul 15.00 – 17.00 WIB. Proses aktifitas petir CG ini terjadi karena adanya pemanasan lokal (konveksi) di wilayah tersebut sehingga pertumbuhan awan konvektif yang berpotensi petir sering terjadi. Aktifitas petir CG pada pada malam hari domian terjadi peningkatan pada pukul 19.00 – 01.00 WIB sedangkan akifias petir CG pada tengah malam terjadi penurunan aktifitas CG pada pukul 06.00 – 07.00 WIB dalam hal ini proses terdisipasinya awan (lenyap) terjadi pada jam tersebut. Terjadi peningkatan aktifitas petir CG malam dan tengah malam menidentifikasikan fase matang pada awan di atas pukul 19.00 WIB dan berlangsung hingga pukul 05.00 WIB.

Lamanya fase awan matang sampai dengan fase awan lenyap menunjukkan kuatnya konvektifitas selain itu juga dikarenakan wilayah Subulussalam sebagian merupakan wilayah pegunungan sehingga faktor orografi yang membuat awan konvektif yang berpotensi petir dapat sering terjadi. Hal ini disebabkan udara dipaksa naik sehingga akan mengalami pendinginan yang berpotensi tumbuh awan - awan penghasil petir.

Dengan diketahuinya hari guruh pada tahun 2012 – 2015 maka dapat di klasifikasikan nilai daerah rawan petir untuk wilayah Subulussalam yaitu dengan menghitung nilai IKL. Pada tahun 2012 terdapat 218 hari guruh, tahun 2013 terjadi 265 hari guruh, pada tahun 2014 terdapat 309 hari guruh, sedangkan pada tahun 2015 terdapat 312 hai guruh sepanjang tahun.

Tabel 3. *Nilai IKL tahun 2012 - 2015*

Tahun	IKL
2012	59.72%
2013	72.60%
2014	84.66%
2015	85.48%

Tabel 3 merupakan hasil perhitungan nilai IKL dari hasil yang telah diperoleh dalam perhitungan hari guruh dalam kurun waktu tahun 2012 sampai dengan tahun 2015 di wilayah Subulussalam nilai IKL antara 59.72% - 85.48%, maka dapat dikatakan wilayah tersebut termasuk kedalam klasifikasi daerah rawan petir yang sangat tinggi.

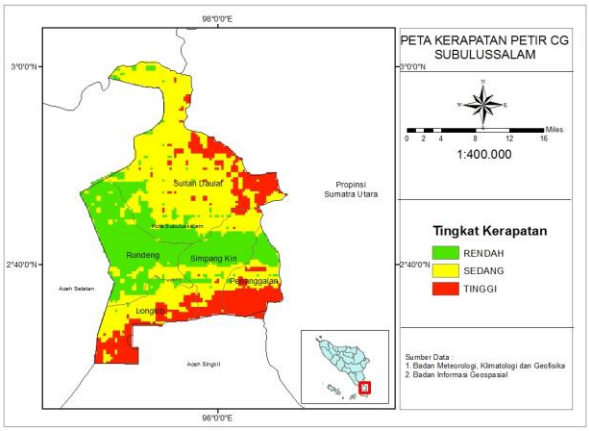
Kuat lemahnya hubungan parameter aktifitas sambaran petir dengan curah hujan sepanjang tahun 2012 sampai dengan tahun 2015 ditunjukkan dengan mencari korelasi antara hari guruh dengan hari hujan di wilayah Subulussalam. Di bawah ini merupakan hasil korelasi antara aktifitas hari guruh dengan hari hujan bulanan tahun 2012 sampai dengan tahun 2015 menggunakan korelasi Pearson.

Tabel 3. *Korelasi Petir CG dan curah hujan*

Tahun	2012	2013	2014	2015
Korelasi I	0.391	0.037	0.023	0.067
Korelasi II	0.512	0.563	0.551	0.535

Korelasi yang diberikan dengan menggunakan metode Pearson antara CG dan curah hujan di wilayah Subulussalam memiliki nilai r = 0.023 hingga r = 0.391 untuk Korelasi I yaitu korelasi antara jumlah aktifitas petir CG bulanan dengan jumlah curah hujan bulanan. Interval koefisien tersebut memilki tingkat hubungan sangat rendah sampai dengan rendah. Hal ini disebabkan dalam satu bulan, curah hujan tinggi tidak selalu diikuti dengan kejadian petir yang tinggi. Sedangkan Korelasi II menunjukkan hubungan yang lebih baik dengan nilai r = 0.512 hingga 0.563 memiliki tingkat hubungan yang sedang yaitu korelasi antara hari guruh bulanan dengan hari hujan bulanan. Dalam Septiadi et al. (2011) parameter kilat memiliki korelasi terhadap curah hujan dengan r = 0.59, kondisi atsmosfer yang semakin labil dengan updraft dan downdraft cenderung berimbang, proses tumbukan dalam awan semakin kuat sehingga memicu akan terjadinya peningkatan CG secara cepat sebagai representasi awan yang matang dan tak jarang disertai hujan yang sangat lebat.

Berdasarkan nilai rata – rata kejadian aktifitas CG pertahun per satu kilometer persegi maka dapat dihasilkan nilai tingkat kerapatannya dengan membagi jumlah aktifitas petir CG dengan jumlah tahun. Nilai kerapatan petir CG inilah yang nanti akan digunakan untuk membandingkan tingkat ancaman bahaya petir CG di wilayah Subulussalam. Semakin tinggi nilai dari kerapatan kejadian petir CG pertahun menunjukkan bahwa wilayah tersebut mempunyai nilai ancaman petir CG yang semakin tinggi.



Gambar 5. *Peta kerapatan petir CG Subulussalam*

Dari Gambar 5 Peta Kerapatan Petir CG di wilayah Subulussalam menunjukan beberapa warna kontur yang didalam warna – warna tersebut memiliki kategori tingkat tinggi rendahnya suatu kerapatan petir CG di wilayah tersebut. Kontur atau tingkat kerapatan tersebut terbagi menjadi tiga kontur warna. Tiga warna kontur tersebut adalah hijau yang dikategorikan sebagai tingkat kerapatan yang rendah, warna kuning dikategorikan sebagai tingkat kerapatan sedang dan warna merah dikategorikan sebagai daerah yang memiliki tingkat kerapatan yang tinggi.

Terlihat pada Gambar 5 bahwa wilayah Subulussalam memiliki tingkat kerapatan petir CG yang bervariasi. Untuk kecamatan Simpang Kiri, Longkip, Penanggalan dan Sultan Daulat memiliki tingkat kerapatan petir CG dari rendah sampai dengan tinggi, di wilayah tersebut variasi kontur terlihar dari warna hijau menunjukkan jumlah sambaran petir CG antara 0 – 4 kali sambaran petir per km² per tahun, warna kuning menunjukkan jumlah sambaran petir CG antar 4 – 8 kali sambaran petir per km² per tahun, sedangkan warna merah menunjukkan jumlah sambaran 8 – 12 kali sambaran per km² per tahun. Untuk wilayah kecamatan Rundeng terdapat dua kontur yaitu hijau dan kuning hal ini menunjukkan jumlah sambaran di wilayah tersebut berkisar antara 0 – 8 kali sambaran petir per km² per tahun. Hal ini diperkuat dengan adanya data korban sambaran petir di wilayah tersebut Kecamatan Simpang Kiri dengan 10 korban sambaran petir, Sultan Daulat 6 korban sambaran petir, Penanggalan sekitar 2 korban sambaran sedangkan Longkip 1 korban sambaran.

Ketinggian rata – rata diatas permukaan laut untuk wilayah Subulussalam sangat bervariasi untuk wilayah Kecamatan Penanggalan, Sultan Daulat, Simpang kiri dan Longkip memiliki ketinggian sekitar 35 m hingga 120 m di atas permukaan laut. Hal ini tidak

menutup kemungkinan topografi menyebabkan banyaknya awan – awan yang menghasilkan petir tumbuh di daerah tersebut, karena udara dipaksa naik keatas dapat mencapai lapisan atmosfer atas, sehingga dapat merubah keadaan suhu dalam lapisan tersebut. Udara yang telah dipaksa naik akan mengalami pendinginan adiabatis yang berpotensi terbentuknya awan – awan penghasil petir dengan kondisi udara yang basah. Namun tidak semua arus udara yang naik ke atas pegunungan akan membentuk awan, seperti pada udara yang tidak cukup basah. Terlihat pada Gambar 5 wilayah Kecamatan Penanggalan, Sultan Daulat, Simpang kiri dan Longkip memiliki sebagian daerah kerapatan petir yang tinggi. Sedangkan untuk Kecamatan Rundeng dengan ketinggian 25m diatas permukaan laut hanya memiliki daerah kerapatan petir rendah hngga sedang yaitu berkisar antara 0 – 8 kali sambaran petir per km² per tahun. Perbedaan intensitas petir di Kecamatan Rundeng dapat terjadi karena pada ketinggian 25 meter dimungkinkan parsel udara belum cukup jenuh sehingga awan belum mencapai fase matang yang dapat menghasilkan petir, tidak seperti daerah Longkip, Sultan Daulat, penanggalan yang relatif lebih tinggi.

Berdasarkan data dari Subulussalam dalam angka tahun 2015, jumlah penduduk Kota Subulussalam mencapai 73.708 jiwa dengan jumlah penduduk terbesar berada di Kecamatan Simpang Kiri yang terdiri dari 30.133 jiwa dengan kepadatan penduduk 141 jiwa per km dan jumlah penduduk terkecil berada dikecamatann Longkib yang terdiri dari 4.852 jiwa dengan kepadatan penduduk sekitar 29 jiwa per km. Semakin padat penduduk peluang terkena sambaran petir semakin tinggi, terlihat pada Gambar 5 wilayah Simpang Kiri memiliki sebagian daerah kerapatan petir yang tinggi yaitu sekitar 8 – 12 kali sambaran petir per km² per tahun.

Kesimpulan

Pola curah hujan di Subulussalam memiliki tipe ekuatorial ditandai dengan distribusi curah hujan bulanannya memiliki dua puncak curah hujan atau berbentuk huruf M, yaitu puncak pertama pada bulan Maret-April sedangkan puncak kedua pada bulan Oktober-November hal ini disebabkan karena matahari berada di posisi *equinoks.*

Subulussalam memiliki nilai IKL antara 59.72% - 85.48%, maka dapat dikatakan wilayah tersebut termasuk kedalam klasifikasi daerah rawan petir yang sangat tinggi. Pola sambaran aktifitas petir CG bulanan di Subulussalam memiliki satu puncak kejadian sambaran petir CG dalam satu tahun yaitu pada bulan Maret, sedangkan pola distribusi harian kejadian CG terdapat tiga puncak yaitu pada pukul 15.00 – 16.00 WIB, 20.00 – 24.00 WIB dan 01.00 – 06.00 WIB. Hubungan aktifitas petir CG dan curah hujan di Subulussalam memiliki nilai r = 0.023 hingga 0.391 untuk korelasi antara jumlah aktifitas petir CG dengan jumlah curah hujan bulanan, sedangkan korelasi antara hari guruh dengan hari hujan bulanan memiliki nilai r = 0.512 hingga 0.563 dalam arti memiliki tingkat hubungan yang sedang.

Dari peta kerapatan petir wilayah Simpang Kiri, Longkip, Penanggalan dan Sultan Daulat memiliki tingkat kerapatan petir CG dari rendah sampai dengan tinggi. Sedangkan untuk wilayah Rundeng hanya memiliki tingkat kerapatan petir rendah dan sedang.

Daftar Pustaka

Hidayat, S. 1991. *Penentuan harga Puncak Waktu Dahi Gelombang Arus Petir Dari Pengukuran Medean Elektrik Jarak Jauh,* Tesis Magister, Program Paska Sarjana, ITB.

Marshall, J. S., dan Radhakant, S. 1978. Radar Precipitation Maps as Lighting Indicator*. J. Appl. Meteor*, 17:206-212

Piepgrass, M. V., dan Krider, E.P, 1982. Lighting and Suface Rainfall During Florida Thunderstorm*. J. Geophys*, 87:193-201.

Price, C., dan Murphy, B., 2002. *Lighting Activity During The 1999 Superior Ereco*. Geophys. *Res. Lett*. 29(23):1-57

Price, C., 2008. *Lighting Sensors For Observing, Traking and Nowcasting Severe Weather, Sensors 2008,* 8, 157-170, Departement of Geophysics and Planetary Sciences, Tel Aviv University, 69978 Israel

Rozikan dan Mira G. 2013*. Analisa intensitas dan tingkat kerapatan petir dengan lightning detector di kabupaten pasuruan*. BMKG Tretes Pasuruan.

Shackford, C. R., 1960. Radar Indication of a Precipitation-Lighting Relationship in New England Thundestorm*. J. Meeteor*,17:15-19.

Spiegel, M.R., Susila, I.N., dan Gunawan, E. 1992. *Teori dan Soal-soal Statistik Versi SI (Metrik).* Penerbit Erlangga, Jakarta.

Sugiyono. 2007. *Metode Penelitian Kuantitatif dan RDN*. Penerbit Alfabeta Bandung, 231

Tapia, A. dan Smith A. J., 1997. *Estimation of Convective Rainfall from Lighting Observations,* American Meteorology Society:1497-1509.

Usman. M. A., 1987. *The Lighting Discharge*. Academic Press, 377.

Zoro, R., 1999. *Karakteristik Petir dan Elemen Cuaca Daerah Tropis, Kasus di Gunung Tangkuban Perahu,* Disertasi, Program Pasca Sarjana, ITB.

Megasains, Vol. 10, No. 1, 26-31
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
© GAW BKT, 2019

Proyeksi Parameter Iklim Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim RCP 4.5 dan RCP 8.5 Menggunakan Statistical Downscalling Di Wilayah Kota Sorong

Linda Natalia So'langi [1] dan Akhmad Fatony[2]

[1]Subbid Analisis dan Proyeksi Perubahan Iklim
[2]Stasiun Pemantau Atmosfer Global Puncak Vihara Sorong

Abstrak. Dampak perubahan cuaca dan iklim ekstrim merupakan permasalahan yang paling serius bagi kehidupan masyarakat di dunia. Secara global sudah banyak bukti atau fakta yang menerangkan bahwa perubahan iklim itu sudah terjadi dan nyata. Hanya saja, akhir-akhir ini laju perubahan iklim semakin cepat sehingga berdampak luas ke berbagai aspek kehidupan manusia. Penelitian ini dilakukan di Kota Sorong dikarenakan kota ini memiliki laju pertumbuhan infrastruktur perkotaan yang pesat apabila dibandingkan dengan kota lain di wilayah Papua dan Papua Barat sehingga menarik untuk diangkat sebagai bahan kajian terhadap perubahan parameter iklim. Penelitian ini memuat informasi tentang tren masing-masing parameter iklim seperti: curah hujan, suhu rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum selama 30 tahun (1981-2010), serta proyeksi terhadap kondisi parameter iklim tersebut selama 40 tahun kedepan (2011-2050) menggunakan metode *statistical downscaling*. Data yang diolah adalah data observasi dan data model skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 yang diperoleh dari CORDEX. Data model skala regional tersebut kemudian dikonversikan ke model skala lokal menggunakan metode *stepwise* dan menghasilkan persamaan yang dibangun berdasarkan data observasi sehingga menghasilkan suatu nilai proyeksi. Hasil penelitian menunjukan laju perubahan tren wilayah Kota Sorong cenderung naik pada semua parameter iklim yang diujikan serta proyeksi yang dihasilkan sejalan dengan analisis tren yang menunjukan pola kenaikan nilai parameter tersebut.
Kata kunci : *tren, proyeksi, RCP 4.5, RCP 8.5, Kota Sorong.*

Abstract. *The impact of extreme weather and climate change is the most serious problem for the lives of people in the world. Globally, there has been a lot of evidence or facts that explain that climate change has occurred and is real. Lately the pace of climate change is accelerating so it has broad impact on various aspects of human life. This research was conducted in Sorong City because the city has a rapid growth rate of urban infrastructure compared to other cities in the Papua and West Papua regions so it is interesting to conduct a study of changes in climate parameters. This research contains information about the trends of each climate parameter such as: rainfall, average temperature, maximum temperature and minimum temperature for 30 years (1981-2010), as well as making projections for these climate parameters for the next 40 years (2011-2050) using statistical downscaling method. The processed data are observation data and RCP 4.5 and RCP 8.5 scenario model data obtained from CORDEX. The data model is then scaled using the stepwise method and the results are in the form of equations which are then built with observational data to produce projections. The results showed that the rate of change in the trend of the Sorong City region tended to rise in all climate parameters tested and the projections produced were in line with the trend analysis that showed the pattern of increasing the value of these parameters.*
Keywords: *trend, projection, RCP 4.5, RCP 8.5, Sorong City.*

Pendahuluan

Dampak perubahan iklim merupakan bagian permasalahan yang paling serius bagi kehidupan masyarakat dunia. Salah satu dampak perubahan iklim adalah kejadian ekstrim akan lebih sering terjadi, lebih luas atau meningkat intensitasnya pada abad ke-21 (IPCC, 2013). Berbagai masalah timbul akibat iklim dan cuaca ekstrim mulai dari banjir, tanah longsor, kekeringan, wabah penyakit, gangguan kesehatan, gagal panen dan kerawanan sosial.

lindanataliasolangi@gmail.com
akhmad.fatony@gmail.com

Perubahan iklim secara umum akan diikuti oleh permasalahan kenaikan suhu secara global atau *global warming*. *Global warming* sendiri dapat diartikan sebagai kenaikan suhu rata-rata muka bumi yang diakibatkan faktor alam dan faktor manusia (Aldrian, 2011). Manusia yang dalam kegiatan sehari-hari menggunakan bahan bakar fosil terus memproduksi gas sebagai hasil buangan dan menjadi faktor pemicu perubahan iklim semakin cepat. Gas-gas tersebut antara lain CO_2, NO_2, dan CO dimana gas-gas tersebut memiliki karakteristik khusus yaitu bersifat seperti kaca yang meneruskan radiasi gelobang pendek tetapi menangkap radiasi gelombang panjang yang di pancarkan bumi. Energi dari radiasi ini terus terakumulasi sehingga menambah total energi yang ada di atmosfer dan berdampak pada kenaikan suhu yang ada.

Fakta bahwa telah terjadi kenaikan suhu global mendorong penulis untuk mencoba menganalisis apakah dampak pemanasan global tersebut telah menimbulkan perubahan iklim pada skala lokal dengan melihat perubahan tren serta pola curah hujan dan suhu udara bulanan di Stasiun Meteorologi Sorong sepanjang periode (1981 – 2010). Stasiun Meteorologi ini dipilih sebagai tempat penelitian karena aktivitas pembangunan daerah perkotaan ini berkembang dengan pesat (Measey, 2010). Jika suhu udara semakin meningkat dan curah hujan juga meningkat dikhawatirkan akan menyebabkan dampak negatif ke masyarakat. Selain itu, Stasiun Meteorologi Sorong juga memiliki data iklim yang lengkap serta berkesinambungan lebih dari 30 tahun.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui indikasi perubahan ikim yang dilihat dari tren parameter iklim meliputi curah hujan, suhu rata-rata, suhu Maksimum dan suhu Minimum dalam periode 30 tahun untuk skala lokal. Serta untuk mengetahui proyeksi parameter iklim khususnya curah hujan dan suhu udara bulanan menggunakan skenario emisi yang disebut dengan *Representative Concentration Pathway* (RCP) yang didasarkan pada *radiatif forcing*. *Radiative forcing* adalah ukuran perubahan bersih dalam keseimbangan energi dari sistem bumi dalam menanggapi beberapa gangguan eksternal dengan satuan watt per meter persegi (Wm-2) (IPCC, 2013). RCP dibagi menjadi 4 skenario yaitu RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 dan RCP 8.5. Berdasarkan empat skenario tersebut RCP 4.5 dan RCP 8.5 merupakan skenario yang banyak diteliti sehingga penulis mengunakan RCP 4.5 sebagai proyeksi yang mewakili gambaran kondisi iklim saat ini dan RCP 8.5 yang mewakili gambaran kondisi iklim terburuk hingga tahun 2050 (Moss, 2010).

Metodologi

Data yang digunakan dalam penulisan ini adalah :

1. Data historical dan proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5, bersumber dari CORDEX dengan area wilayah pengambilan data di lintang 0^0- 10^0 LS dan 129^0 BT – 143^0 BT sebagai domain Wilayah Pulau Papua, sehingga data grid dari 651 titik yang tersebar pada area pengambilan.
2. Data observasi dari Stasiun Meteorologi Sorong dengan parameter berupa curah hujan, suhu maksimum, suhu minimum, dan suhu rata-rata harian.
3. Lokasi Pengamatan
   Terletak diwilayah Kota Sorong, Papua Barat dengan Koordinat $0^O52'47"$ LS dan $131^O17'52"$ BT.

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisannya ini adalah metode statistik diskriptif dan analisis data dengan menggunakan *stepwise regression* melalui bantuan program Minitab dan R-Climdex (Van, 2009). Adapun langkah dalam analisis menggunakan metode *stepwise regression* adalah sebagai berikut :

1. Analisa tren data 30 Tahun
   Analisa dilakukan dengan membuat tren curah hujan, tren suhu rata-rata, suhu maksimul, dan suhu minimum yang kemudian dilihat kecendrungan akan pergerakan data. Di mana analisa tren akan dilakukan untuk data 30 tahun, data dekade 1 (1981 – 1990), data dekade 2 (1991 – 2000) dan dekade 3 (2001 – 2010).
2. Identifikasi model terbaik
   Pembentukan model terbaik dilakukan dengan metode *stepwise regression*, dengan memilih variabel penduga (*predictor*) terbaik dari 651 data grid yang didapat dari data historis RCP 4.5 dan RCP 8.5 berdasarkan nilai *R-square* tertinggi terhadap data observasi.

Persamaan ini digambarkan sebagai :

$$Y = aX1+bX2+cX3+ .....+nXn……..…(2\text{-}1)$$

Dimana :
Y = Data Hasil Proyeksi
X1, X2, ... ,Xn = Data Penduga (*Predictor*)
a, b, c, ..., n = Koefisien Pengaruh masing-masing variabel X.

3. Menjalankan model untuk proyeksi.
   Selanjutnya setelah diketahui model yang tepat dari hasil *stepwise regression* antara data observasi dengan data historis CORDEX, maka dilanjutkan dengan membuat proyeksi dari model yang telah didapatkan tersebut untuk masing-masing

parameter berdasarkan data proyeksi dari RCP 4.5 dan RCP 8.5.

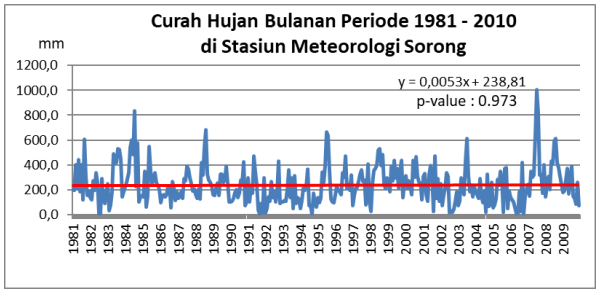
4. Perbandingan hasil
Selanjutnya dari hasil proyeksi yang telah dijalankan dari model sebelumnya didapatkan hasil dari masing-masing parameter dengan proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5. Hasil itu dapat menjelaskan bagaimana proyeksi kedepan dengan perbedaan skenario proyeksi antara RCP 4.5 dan RCP 8.5.

Gambar 1. Diagram alir

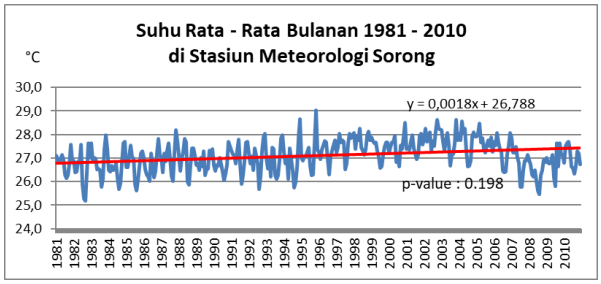
Hasil dan Pembahasan

1. Analisis Tren

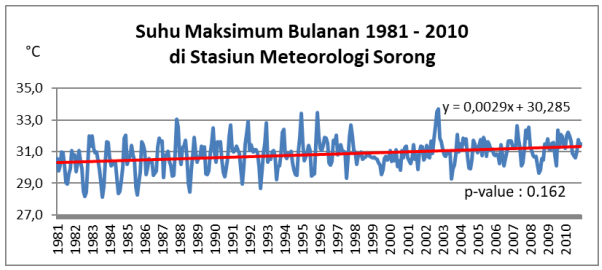
Dari hasil perhitungan dengan bantuan perangkat lunak Ms. Excel diperoleh nilai tren dari masing-masing parameter iklim berdasarkan nilai observasi, maka didapati hasil sebagai berikut :



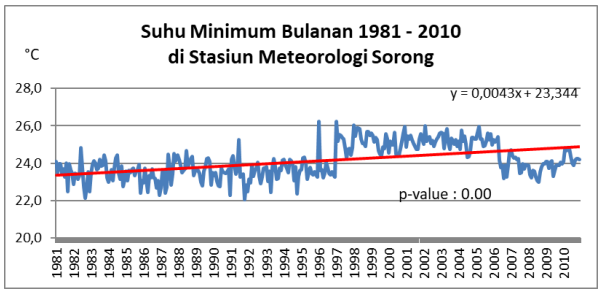
Gambar 2. Grafik tren curah hujan



Gambar 3. Grafik tren suhu rata – rata bulanan



Gambar 4. Grafik tren suhu maksimum bulanan



Gambar 5. Grafik tren suhu minimum bulanan

Dari hasil analisa tren diatas terhadap data 30 tahun yang telah terjadi diketahui bahwa ke-4 (empat) sampel parameter iklim di wilayah Kota Sorong tersebut mengalami kecenderungan untuk meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi perubahan rata-rata nilai parameter iklim pada periode tersebut dengan besar perubahan yang berbeda dan dapat terlihat dari nilai slope masing – masing parameter. Kecenderungan tertinggi terjadi pada curah hujan yang memiliki slope (kemiringan) sebesar 0,005 selanjutnya diikuti suhu minimum yang memiliki slope sebesar 0,004, suhu maksimum yang memiliki slope sebesar 0,002 dan suhu rata-rata yang memiliki slope hanya berkisar 0,001.

Hal ini sejalan dengan teori terkait dengan perubahan iklim dimana suhu udara diprediksi akan mengalami peningkatan dan curah hujan semakin lebat dengan durasi yang semakin singkat.

2. Model *Statistical Downscaling*

Pembentukan model *Downscalling* berdasarkan data 30 tahun Stasiun Meteorologi Sorong menggunakan metode *Stepwise* yang dijalankan dengan bantuan program Minitab 16.

Pada akhirnya didapat model terbaik sebagai berikut :

Tabel 1 Persamaan Model Curah Hujan

Model	$Y=125,3+0,269X_{1}+0,118X_{23}-0,42X_{101}+0,147X_{231}+0,306X_{235}-0,57X_{393}-0,227X_{399}+0,271X_{453}+0,3X_{466}$
R-Sqr	27,88%

Tabel 2 Persamaan Model Suhu Udara Rata – rata

Model	$Y=2,955+0,179X_{510}+0,466X_{58}+0,105X_{648}+0,199X_{184}+0,081X_{31}-0,083X_{114}$
R-Sqr	33,51%

Tabel 3 Persamaan Model Suhu Maksimum

Model	$Y=3,224+0,446X_{25}+0,199X_{503}-0,405X_{492}-0,63X_{528}+0,48X_{254}+0,94X_{457}+0,387X_{287}-0,29X_{263}-0,7X_{425}+0,44X_{421}-0,58X_{455}+0,37X_{559}+0,39X_{544}+0,288X_{598}-0,3X_{533}$
R-Sqr	37,34%

Tabel 4 Persamaan Model Suhu Maksimum

Model	$Y=-10,863+0,34X_{99}+0,437X_{25}+0,096X_{615}+0,327X_{165}+0,474X_{219}-0,207X_{102}$
R-Sqr	77,24%

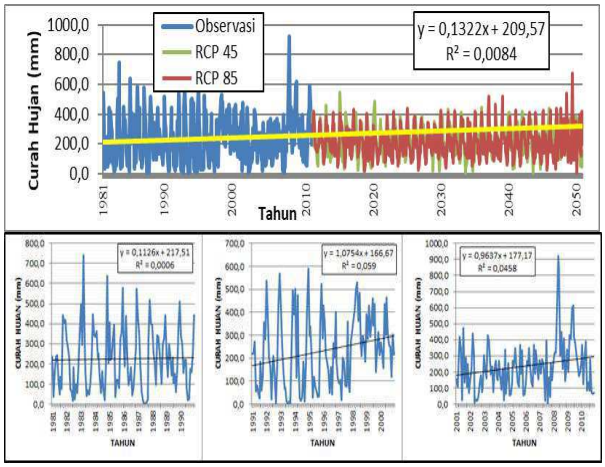
Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa Model terbaik adalah model untuk Suhu Minimum dengan nilai koefisien determinasi 77,24 % dan terburuk adalah model untuk curah hujan dengan koefisien determinasi 27,88 %

Dapat diketahui bahwa koefisien determinasi merupakan salah satu cara untuk mengetahui hubungan dan respon suatu parameter terhadap parameter lain. Semakin tinggi nilai koefisien determinasi semakin dekat kaitan antara parameter tersebut (Wilks, 1995).

Suhu udara maksimum memiliki koefisien determinasi tertinggi yang berarti keterkaitan antara data observasi 30 tahun dan data model 30 tahun sangat mirip, dengan kata lain model yang dibuat mendekati kondisi nyata. Suhu udara rata – rata, suhu minimum dan curah hujan memiliki nilai yang rendah karena kedua parameter ini masih dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kondisi cuaca, kandungan uap air dan dinamika atmosfer global lain sehingga mempengaruhi akurasi model yang digunakan sebagai pembanding terhadap kondisi nyata.

3. Analisis Tren serta Hasil Proyeksi RCP 4.5 Dan RCP 8.5

Curah Hujan



Gambar 6. Grafik tren curah hujan, hasil proyeksi dari RCP 4.5 dan RCP 8.5

Tren data observasi 30 tahun periode tahun 1981 – 2010 menunjukan tren peningkatan jumlah hujan tahunan, sebesar 132 mm/100 tahun. Pada periode 1981 – 1990 kenaikan tren jumlah curah hujan tahunan tidak signifikan, kenaikan signifikan baru nampak pada dua dekade berikut yaitu tahun 1991 – 2000 dan 2001 – 2010.

Kenaikan tren ini tidak sejalan bila dibandingkan curah hujan hasil proyeksi dimana curah hujan hasil proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5 hujan Wilayah Kota Sorong 50 tahun kedepan memang mengalami kenaikan tetapi nilai kenaikan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan kenaikan tren data observasi.

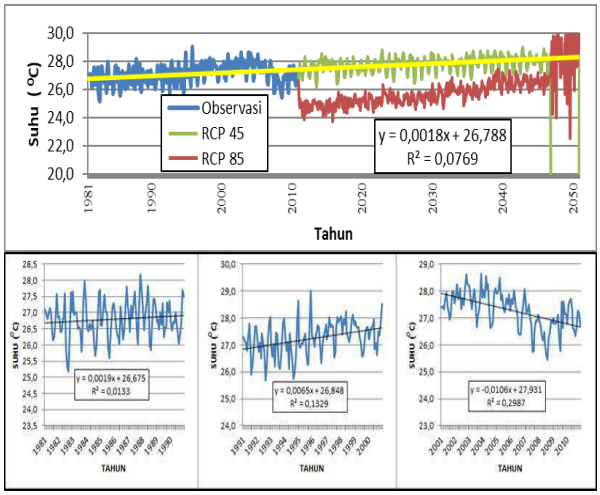
Hal ini membuktikan bahwa kaitan antara data hasil observasi dan data model kecil yaitu 27,88% sehingga pola yang kemudian dihasilkan antara data observasi dan proyeksi data model memiliki perbedaan pola atau tidak konsisten. Namun, jumlah curah hujan dan pola hujan periode 2010 – 2050 diproyeksikan akan mengalami kenaikan. Hal ini tampak dari grafik hasil Proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5 yang memiliki rentang nilai dan pola yang sama.

Suhu Rata – Rata Bulanan

Gambar 7, menunjukan tren suhu rata-rata bulanan selama 30 tahun hasil observasi yang kemudian dilanjutkan dengan proyeksi suhu suhu rata-rata bulanan selama 50 tahun berdasarkan data model Proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5.

Tren kenaikan suhu rata – rata bulanan 30 tahun periode 1981 – 2010 menunjukan tren kenaikan dengan laju $0,18^{O}C$/100 tahun, tetapi apabila tren tersebut dianalisa untuk masing-masing dekade (10 tahun) maka akan terlihat hal

yang unik, di mana tren periode dekade 1 (1981 – 1990) dan dekade 2 (1991 – 2000) suhu udara rata – rata mengalami kenaikan tetapi pada dekade 3 (2001 – 2010) terlihat tren penurunan. Hal ini cukup menarik untuk ditinjau karena bertentangan dengan teori pemanasan global, dimana pada dekade 3 tren suhu udara semestinya mengalami kenaikan (Haryoko, 2008).

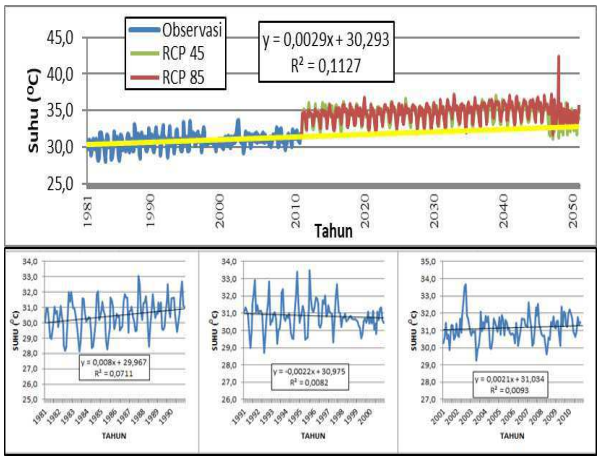


Gambar 7. Grafik Tren Suhu rata-rata, hasil proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5

Secara umum kenaikan tren data hasil observasi akan sejalan dengan kondisi suhu rata – rata hasil proyeksi RCP 4.5 yang menunjukan perubahan signifikan terhadap suhu rata-rata wilayah Kota Sorong 50 tahun kedepan. Sebaliknya, hasil proyeksi RCP 8.5 menunjukan hasil dibawah RCP 4.5 dan proyeksi pada periode 2041 – 2050 menunjukan pola dan nilai yang jauh berbeda dari periode 2011 – 2020, 2021 – 2030 dan 2031 – 2040.

Sehingga dapat disimpulkan untuk parameter suhu udara rata – rata, hasil proyeksi RCP 4.5 lebih mendekati kondisi nyata untuk wilayah Kota Sorong.

Suhu Maksimum

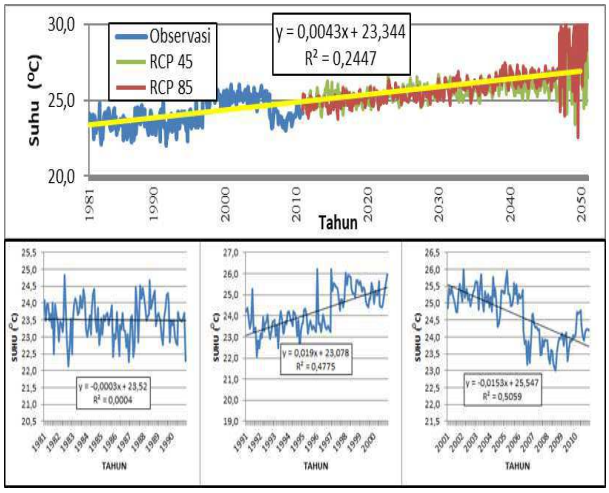


Gambar 8. Grafik tren Suhu maksimum, hasil proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5

Tren data observasi 30 tahun periode tahun 1981 – 2010 menunjukan kenaikan, dengan laju perubahan 0,29^{O}C/100 tahun. Tren naik signifikan dapat dilihat pada periode dekade 1 dan 3 dan turun pada dekade 2. Kenaikan tren ini bila dibiarkan akan sejalan dengan kondisi suhu rata-rata hasil proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5 meskipun hasil dari proyeksi lebih tinggi.

Hal ini menunjukan kemungkinan perubahan suhu maksimum dapat lebih signifikan dibandingkan laju perubahan tren saat ini untuk wilayah Kota Sorong 50 tahun kedepan.

Suhu Minimum



Gambar 9. Grafik tren suhu minimum, hasil proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5

Tren data observasi 30 tahun periode tahun 1981 – 2010 menunjukan kenaikan, dengan laju perubahan 0,43^{O}C/100 tahun. Meski pun apabila dilihat lebih mendetail pada setiap dekade, pada dekade 1 dan dekade 2 terlihat suhu minimum mengalami tren kenaikan sedang pada dekade 3 mengalami tren penurunan. Pola tersebut juga dijumpai pada pola tren dekade suhu udara rata – rata bulanan.

Kenaikan tren ini bila dibiarkan akan sejalan dengan kondisi suhu rata-rata hasil proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5 yang menunjukan perubahan signifikan terhadap suhu minimum Wilayah Kota Sorong 50 tahun kedepan. Tren kenaikan suhu minimum apabila dibandingkan dengan 3 parameter lain merupakan parameter yang diproyeksikan akan mengalami perubahan yang paling besar (Novianto, 2013). Hal ini juga sejalan dengan kondisi pemanasan global, dimana peningkatan gas rumah kaca akan berakibat pada penyerapan energi radiasi gelombang panjang pada malam hari yang akan meningkat dan berakibat pada kenaikan suhu minimum.

Kesimpulan

Pembuatan Model downscalling dengan metode stepwise menghasilkan model dengan nilai determinasi terbaik untuk suhu minimum 77,24%, suhu maksimum 37,47%, suhu rata-rata 33,51% dan curah hujan 27,88%. Nilai koefisien determinasi menggambarkan sejauh mana suatu model dapat menggambarkan faktor yang mempengaruhi data yang diprakirakan. Laju perubahan tren wilayah Kota Sorong cenderung naik untuk semua parameter. Secara umum hasil dari proyeksi RCP 4.5 dan RCP 8.5 sejalan dengan tren perubahan yang terjadi. Kondisi ini bukan membandingkan antara tren dan hasil proyeksi tetapi memberikan gambar akan perkembangan parameter iklim yang ada dilihat dari pendekatan tren dan proyeksi. Kajian ini didasarkan pada skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5 menggunakan model *downscalling* dimana skenario tersebut belum tentu cocok dengan kondisi yang ada, dan model yang dipakai tidak dapat menyeluruh menggambarkan faktor yang mempengaruhi kondisi parameter iklim di wilayah Kota Sorong.

Pada tahun 2007 terlihat pergeseran nilai rata-rata dikarenakan ada perpindahan stasiun, sehingga mempengaruhi nilai tren parameter iklim yang tercatat. Untuk itu perlu dilakukan uji homogenitas atau uji *double mass* untuk menyamakan data sebelum 2007 dan sesudah 2007.

Daftar Pustaka

Aldrian, Edvin, Mimin Karmini dan Budiman. 2011. *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedeputian Bidang Klimatologi. BMKG, Jakarta. 175 hlm.

Haryoko, Urip, M.Si. 2008. *Analisis Kecenderungan Suhu Udara dan Curah Hujan untuk Deteksi Perubahan Iklim*. Seminar Hari Meteorologi Dunia 2008. Jakarta 18 Maret 2008.

IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovenrmental Panel on Climate Change.* Cambrigde University Press, United Kingdom and New York, USA :222

Measey, Mariah. 2010. Indonesia: A Vulnerable Country in the Face of Climate Change. *Global Majority E-Journal*,1:31-45.

Novianto, Muhammad Addip. 2013. *Study on Morphological Changes of Starch Accumulation in Indica Rice Grain under High Temperature*. Thesis: Master's Program in Plant Production Science Major in Biological Production Science Graduate School of Agriculture, Ibaraki University, Japan.

Van Vuuren, D., K. Riahi, S. Smith, M. Meinshausen, Michael Mastrandrea and Richard Moss. 2009. *RCP Extension White Paper*. Task Group on Data and Scenarios for Impact and Climate Analysis (TGICA) of the IPCC. 9 pages.

Wilks, Daniel, S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, USA, 676 pages.

Megasains, Vol.10 (1). 32-40
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
© GAW BKT, 2019

Analisis Kualitas Udara di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang Berkaitan dengan Kekeringan Saat *El Niño* Tahun 2014-2015

Mareta Asnia[1,1], Wandayantolis[2,1] dan Rendi Septa Davi[3,1]
[1]Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang

Abstrak. Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun di daerah Sumatera khususnya ekuatorial yang melakukan pengukuran kualitas udara. Dengan dilakukannya pengukuran parameter kualitas udara maka memungkinkan kita melakukan analisis kondisi kualitas udara di Stasiun GAW Bukit kototabang berkaitan dengan kekeringan yang terjadi pada saat el nino pada tahun 2014 - 2015. Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data konsentrasi harian parameter kualitas udara, data curah hujan wilayah terjadinya kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2014-2015, data Hotspot/titik panas, data archive Air Resources Laboratory NOAA (model HYPSLIT), data angin reanalisis lapisan 850 mb, dan data *Oceanic Niño Index*. Dalam analisis ini di gunakan metode time series. Hasil dari analisis menunjukkan Kebakaran hutan yang terjadinya pada tahun 2014-2015 hanya memengaruhi beberapa parameter di antaranya PM10, Black Carbon dan CO. Kekeringan yang menjadi faktor pemicu terjadinya kebakaran di provinsi Riau menyebabkan konsentrasi parameter kualitas udara meningkat secara signifikan. Peningkatan konsentrasi parameter kualitas udara pada bulan september dan oktober tahun 2015 dipengaruhi oleh kebakaran hutan yang terjadi di wilayah sumatera selatan pada saat terjadi *El Niño* kuat pada tahun 2015. **Kata kunci:** Kualitas udara, Kebakaran hutan, kekeringan

Pendahuluan

Kebakaran Hutan merupakan fenomena yang sering terjadi di wilayah Sumatera khususnya bagian selatan dan timur yang berdampak di beberapa wilayah, salah satunya di wilayah Sumatera Barat. Isu kebakaran hutan mulai marak seiring dengan meningkatnya perubahan lahan dan dipicu oleh kekeringan (Kusumaningtiyas dan Aldrian, 2016). Kekeringan didefinisikan sebagai curah hujan yang terjadi pada suatu musim berada di bawah normalnya (Supriyatna, 2016). Salah satu faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kekeringan adalah terjadinya *El Niño*. Kondisi el nino mengakibatkan massa udara berkumpul ke wilayah Pasifik Timur sekitar Ekuator, sehingga wilayah Indonesia mengalami pengurangan curah hujan dan di beberapa wilayah mengalami kekeringan (Yamanaka dkk, 2002).

Dalam beberapa tahun terakhir fenomena kebakaran hutan sering terjadi di wilayah Indonesia khususnya wilayah Sumatera dan Kalimantan, hal ini dapat menyebabkan kondisi kualitas udara di suatu wilayah menurun. Peningkatan konsentrasi parameter kualitas udara akibat kebakaran hutan sangat dipengaruhi oleh pergerakan angin yang membawa polutan dari sumber pencemar ke daerah tujuan polutan (Maslakah, 2009). Kondisi kualitas udara juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya ,intensitas curah hujan, jumlah hotspot, dan trajectory angin (Nahas dan Nugroho, 2011).

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit kototabang merupakan lokasi penting dalam memantau kebakaran hutan yang terjadi di Indonesia, pengukuran *Black Carbon* cukup representatif untuk menggambarkan kondisi kualitas udara di Sumatera khususnya pada saat terjadi kebakaran hutan (Satria dan Nahas, 2016). Krisanti (2011) menyebutkan perbedaan yang signifikan konsentrasi PM10 dan Black Carbon antara daerah dekat terjadinya kebakaran hutan dengan daerah yang jauh dari lokasi kebakaran tersebut *Black Carbon* merupakan salah satu dari beberapa parameter kualitas udara yang diamati di stasiun GAW Bukit kototabang, beberapa parameter lainnya yang juga di amat adalah *Particulate matter* (PM)10, Karbon Monoksida (CO) dan Ozon permukaan.

Stasiun GAW Bukit Kototabang yang berlokasi di wilayah Sumatera Barat merupakan bagian dari sistem monitoring dan riset yang dikoordinasi oleh *World Meteorological Organization* (WMO) dan merupakan salah satu

icha_fsg@yahoo.com

stasiun di daerah Sumatera khususnya Ekuatorial yang melakukan pengukuran kualitas udara (Kurniawan, 2017). Pengukuran parameter kualitas udara memungkinkan kita melakukan analisis untuk mengetahui kondisi kualitas udara di Stasiun GAW Bukit kototabang berkaitan dengan kekeringan yang terjadi pada saat *El Niño* pada saat *El Niño* pada tahun 2014-2015.

Metodologi

Data

Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data konsentrasi harian Particulate Matter (PM)10, Black Carbon (BC), Karbon Monoksida (CO), dan Ozon Permukaan yang didapat dari hasil pengukuran dengan alat otomatis yang ada di stasiun GAW bukit kototabang, series data yang digunakan adalah data tahun 2014-2015. Stasiun GAW Bukit kototabang berada pada ketinggian 864.5 mdpl, dengan posisi koordinat 0°12'0" LS dan 100°19'19" BT.

Gambar 1. *Lokasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang.*

Peralatan otomatis yang digunakan dalam pengukuran parameter kualitas udara adalah BAM 1020 (PM10) , Aethalometer (Black Carbon), CO analyzer Horiba (CO), dan Ozon analyzer TEI-49C (Ozon permukaan).

Selain data parameter kualitas udara dalam analisis ini digunakan data curah hujan bulanan tahun 2014-2015 Stasiun Klimatologi Tambang Kampar, Stasiun Meteorologi Sultan Syarif Kasim Pekanbaru, Stasiun Klimatologi Kenten, dan Stasiun Meteorologi SMBII Palembang, dimana ke-empat lokasi tersebut merupakan wilayah terjadinya kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2014-2015.

Data pendukung lainnya yang digunakan dalam analisis ini adalah data Archive Air Resources Laboratory NOAA (model HYPSLIT), data Angin Reanalisis lapisan 850 mb (esrl.noaa), Data *Oceanic Niño Index* (ncep.noaa), Data hotspot / titik panas bulanan dari website bmkg (http://satelit.bmkg.go.id) yang bersumber dari Satelit MODIS (Terra, Aqua, dan SNPP).

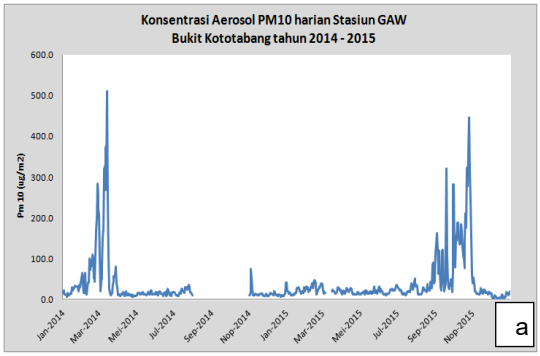
Metode analisis

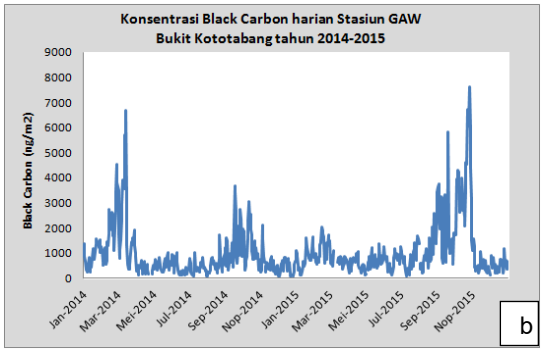
Data konsentrasi parameter kualitas udara yang dihasilkan dari pengukuran peralatan otomatis dianalisis secara time series untuk melihat konsentrasi maksimum yang terukur pada tahun 2014-2015, karena time series merupakan aplikasi sederhana di bidang meteorologi yang umum digunakan untuk memahami perilaku unsur-unsur cuaca (Machiwald dan Jha 2006). Selanjutnya dilakukan analisis konsentrasi harian untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi pada tahun tersebut.

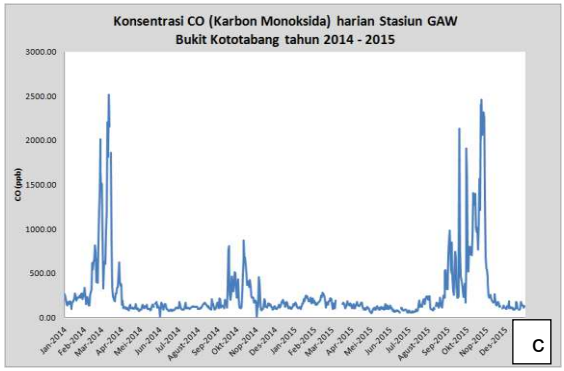
Data hotspot / titik api yang dihasilkan dari website BMKG digunakan untuk mengetahui wilayah sumber polutan. Data curah hujan , dan *Oceanic Niño Index* (*ONI*) tahun 2014-2015 digunakan untuk mengidentifikasi kejadian kekeringan yang menyebabkan berkurangnya curah hujan di wilayah terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Untuk mengetahui arah dan jalur transport polutan digunakan data *Backward Trajectory* yang dihasilkan dari model *HYSPLIT NOAA* dan data *Reanalisis* Angin 850mb yang diolah dengan menggunakan aplikasi *GRADS*.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Time series







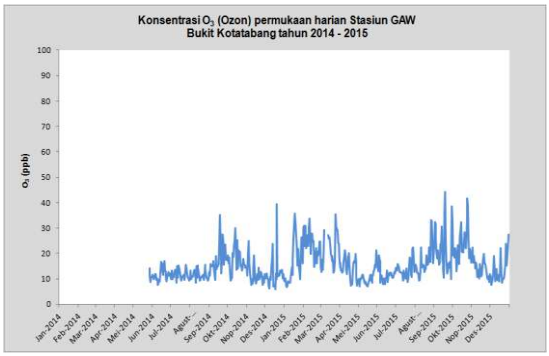
Gambar 2. *Grafik Konsentrasi PM10 (a), Black Carbon (b), dan CO(c) harian Stasiun GAW Bukit Kototabang tahun2014-2015.*

Konsentrasi parameter kualitas udara di Stasiun GAW Bukit Kototabang pada tahun 2014-2015 meningkat secara signifikan, hal ini dapat terlihat pada Gambar 2, terutama pada konsentrasi aerosol / particulate yang biasanya dihasilkan dari pembakaran biomassa.

Berdasarkan gambar 2.a grafik time series PM10 pada tahun 2014-2015 konsentrasi tertinggi terjadi pada tgl 14 maret 2014 dengan konsentrasi sebesar 511 (ųg/m³), dengan nilai rata-rata pada bulan maret sebesar 19 (ųg/m³), hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi parameter kualitas udara yang terukur di stasiun GAW bukit kototabang berada jauh di atas rata-rata, dengan prosentase peningkatan sebesar 2700% pada konsentrasi PM10, 1090% pada konsentrasi Black Carbon, 1400% pada konsentrasi CO dan 230% pada konsentrasi Ozon permukaan. Konsentrasi Black Carbon (gambar 2.b) mencapai nilai maksimum sebesar 7461 (ng/m³) pada tanggal 26 Oktober 2015, dengan nilai rata-rata yang terukur di sebesar 683 (ng/m³). Konsentrasi CO (gambar 2.c) mencapai nilai maksimum pada tanggal 12 Maret 2014 sebesar 2515 ppb dengan nilai rata-rata yang terukur di stasiun GAW bukit kototabang sebesar 175 ppb.

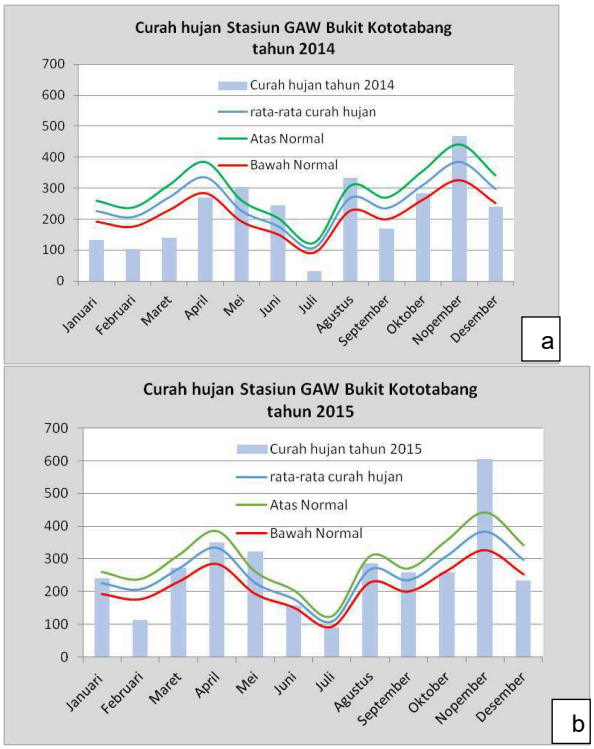
Tabel 1. *Konsentrasi maksimum dan rata-rata Parameter Kualitas Udara di Stasiun GAW Bukit Kototabang pada tahun 2014-2015.*

Parameter	Maksimum	Rata-rata	Waktu
PM10	511(ųg/m³)	19 (ųg/m³)	14/03/2014
Black Carbon	7461(ng/m³)	683 (ng/m³)	26/10/2015
CO	2515(ppb)	175 (ppb)	12/03/2014
Ozon Permukaan	44(ppb)	19 (ppb)	19/09/2015



Gambar 3. *Grafik Konsentrasi Ozon Permukaan harian Stasiun GAW Bukit Kototabang tahun2014-2015.*

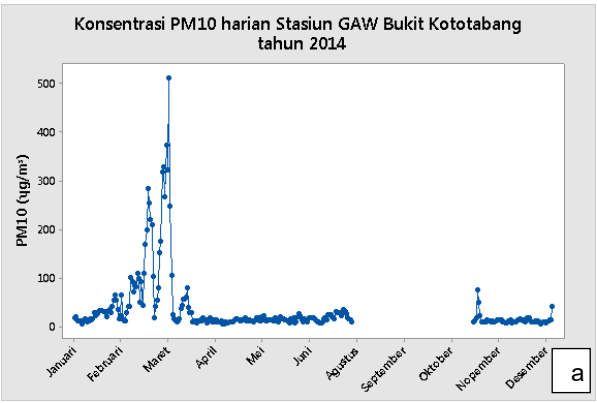
Berbeda dengan konsentrasi PM10, Black Carbon dan CO, konsentrasi Ozon permukaan pada tahun 2014-2015 tidak meningkat secara signifikan hal ini dapat dilihat pada gambar 3, karena ozon merupakan produk sekunder dari hasil pembakaran biomassa di mana prekursor prekursor ozon bereaksi dengan bantuan energi sinar matahari (Tugaswati, 2012) . Kebakaran hutan yang terjadi pada tahun 2014-2015 menimbulkan terjadinya kabut asap di permukaan sehingga menyebabkan energi sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi tidak maksimal, sehingga mempengaruhi pembentukan Ozon permukaan. Konsentrasi Ozon permukaan maksimum terjadi pada tanggal 19 September 2015 sebesar 44 ppb, dengan nilai rata-rata yang terukur di stasiun GAW Bukit Kototabang sebesar 19 ppb.

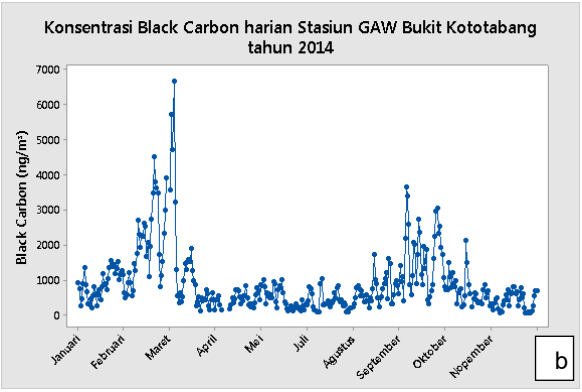


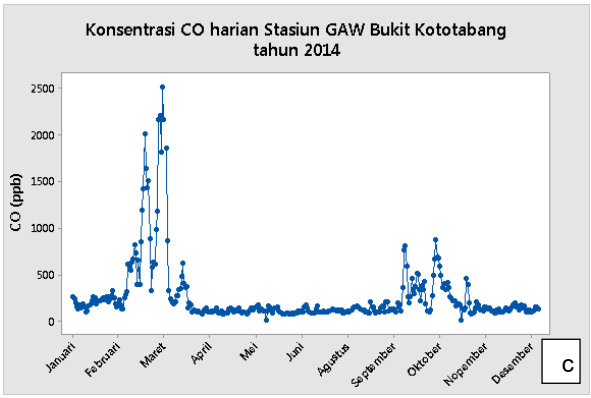
Gambar 4. *Curah hujan dan normal curah hujan Stasiun GAW Bukit Kototabang pada tahun 2014(a), dan tahun 2015 (b)*

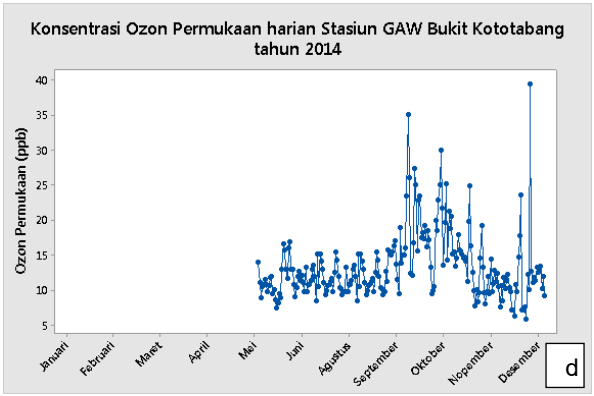
Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3, pada saat terjadi peningkatan konsentrasi parameter kualitas udara secara signifikan di Stasiun GAW Bukit kototabang kondisi curah hujan berada di bawah normal, dimana pada bulan Februari dan Maret tahun 2014 (Gambar 4.a) saat konsentrasi parameter kualitas udara meningkat secara signifikan jumlah curah hujan yang terukur sebesar 102,6 mm dengan curah hujan normal pada bulan tersebut sebesar 206,8 mm, pada bulan Maret curah hujan terukur sebesar 204,1 mm dengan curah hujan normal pada bulan tersebut sebesar 269,9 mm. berbeda dengan tahun 2014, pada tahun 2015 (Gambar 4.b) penurunan curah hujan hanya terjadi pada bulan Oktober, dengan curah hujan yang terukur sebesar 258 mm, dengan normal curah hujan pada bulan tersebut sebesar 309,7 mm. Namun secara umum kedua kondisi ini menjadi salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi parameter kualias udara yang terukur di Stasiun GAW Bukit Kototabang.

Analisis konsentrasi parameter kualitas udara pada tahun 2014

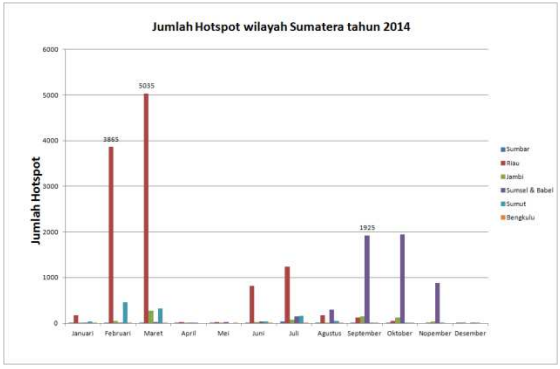






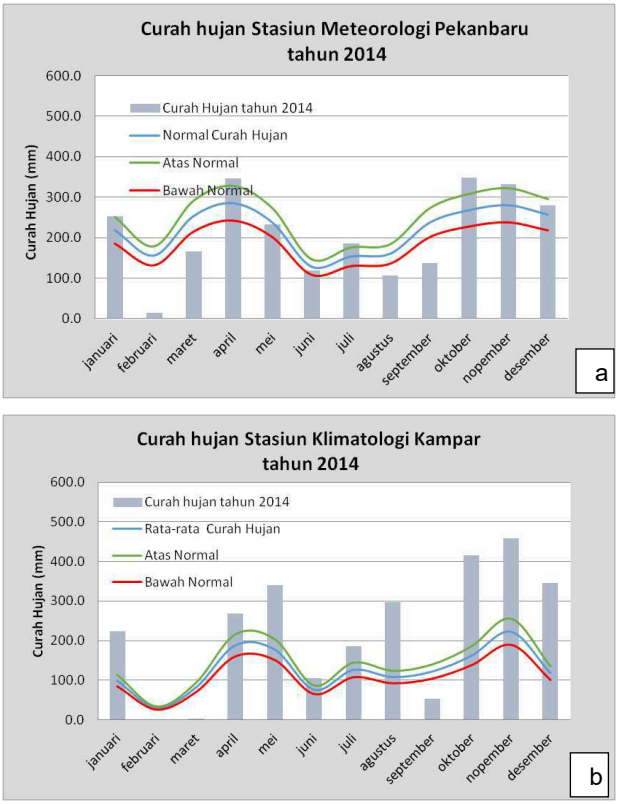


Gambar 5. *Konsentrasi PM10 (a), Black Carbon (b), CO(c) dan Ozon Permukaan (d) Stasiun GAW Bukit Kototabang tahun 2014.*



Gambar 6. *Grafik jumlah hotspot wilayah Sumatera pada tahun 2014.*

Gambar 5 merupakan Konsentrasi harian PM10 (a), Black Carbon (b), CO (c) dan Ozon permukaan (d) pada tahun 2014, dari gambar tersebut terlihat bahwa secara umum konsentrasi maksimum terjadi pada bulan Februari hingga Maret, jika dilihat dari kondisi hotspot/titik panas yang terpantau di wilayah Sumatera pada tahun 2014 (Gambar. 6) hotspot tertinggi terpantau di provinsi Riau dengan jumlah hotspot tertinggi terjadi pada bulan Februari dan Maret dengan jumlah hotspot sebanyak 3865 pada bulan februari dan 5035 pada bulan Maret 2014.



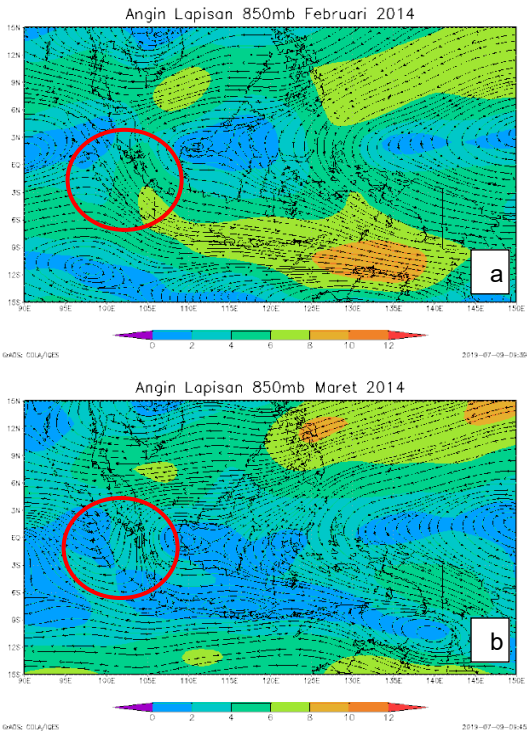
Gambar 7. *Grafik curah hujan dan normal curah hujan Stasiun Klimatologi Kampar (a) dan Stasiun Meteorologi SSK Pekanbaru (b) pada tahun 2014*

Berdasarkan Gambar 7, kondisi curah hujan di provinsi Riau pada bulan Februari hingga Maret 2014 intensitas curah hujan berada di bawah normal / rata-rata. Curah hujan yang terukur di Stasiun Meteorologi Pekanbaru pada bulan Februari sebesar 13,8 mm dengan curah hujan normal pada bulan tersebut sebesar 155 mm sedangkan curah hujan yang terukur di stasiun Klimatologi kampar pada bulan Februari sebesar 0 mm dengan rata-rata curah hujan pada bulan tersebut sebesar 30 mm. Curah hujan yang terukur di stasiun Meteorologi Pekanbaru pada bulan Maret sebesar 147.2 mm dengan curah hujan normal pada bulan tersebut sebesar 253.3 mm, sedangkan curah hujan yang terukur di stasiun Klimatologi Kampar pada bulan Maret sebesar 3.3 mm dengan rata-rata curah hujan pada bulan tersebut sebesar 82.0 mm. Kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi curah hujan di Provinsi Riau menyebabkan terjadinya kekeringan sehingga mengakibatkan terjadinya kebakaran hutan, hal ini berdampak pada hotspot/titik panas yang terpantau di Provinsi Riau pada bulan Februari dan Maret tahun 2014.

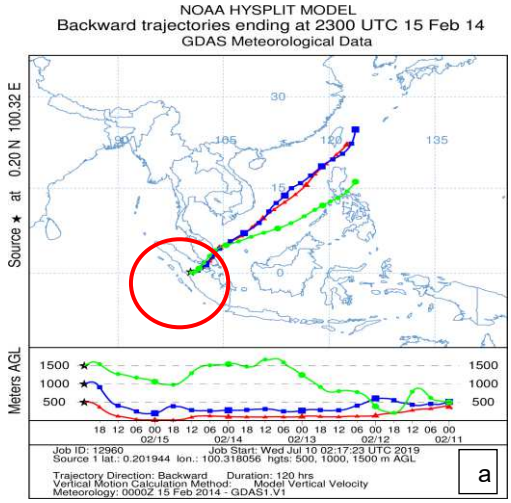
Tabel 2. *Oceanic Niño Index.*

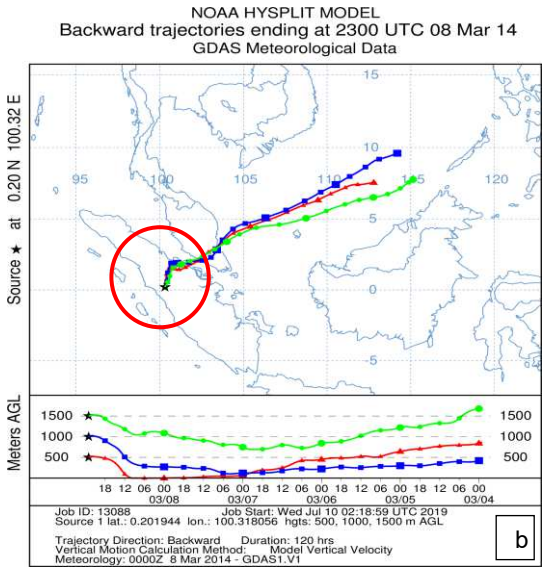
Oceanic Niño Index												
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6

Niño Index pada tahun 2014 menunjukkan nilai negatif sehingga El *Niño* tidak terjadi pada tahun tersebut.



Gambar 8. *Peta Angin lapisan 850mb pada bulan Februari (a) dan Maret (b) tahun 2014.*



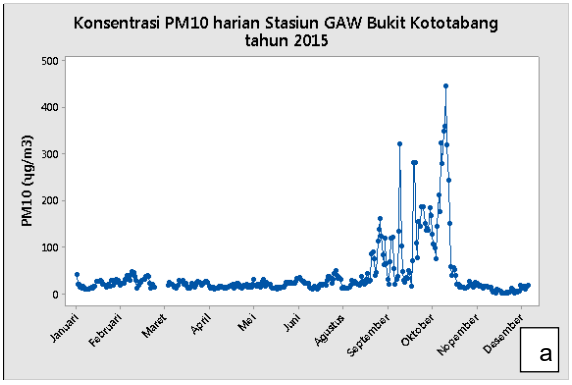


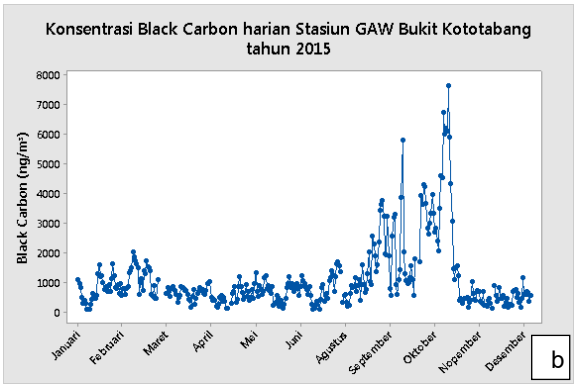
Gambar 9. *Backward Trajectories pada bulan Februari (a) dan Maret (b) tahun 2014*

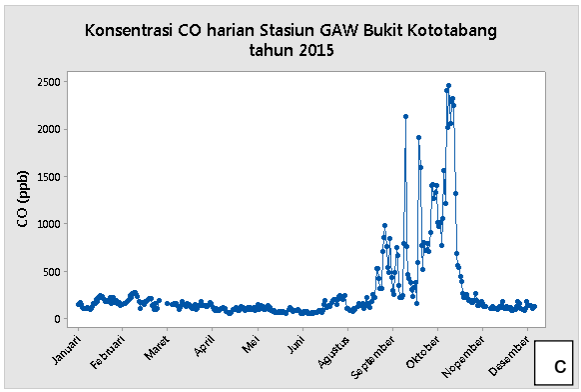
.

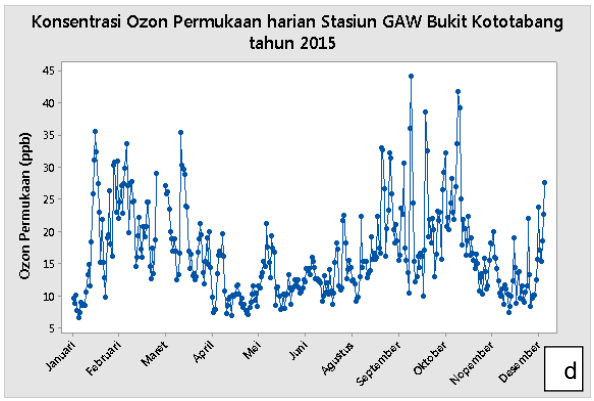
Gambar 8 (a dan b) memperlihatkan bahwa pada bulan Maret dan Februari pada tahun 2014 arah angin di wilayah pengukuran parameter kualitas udara (Stasiun GAW Bukit Kototabang) bergerak dari Timur Laut hingga Timur. berdasarkan *Backward Trajectory* pada bulan Februari dan bulan maret 2014 (Gambar 9 a,b) masa udara yang bergerak menuju lokasi Stasiun GAW Bukit Kototabang berasal dari wilayah terjadinya kebakaran hutan sehingga polutan yang berasal dari wilayah kebakaran hutan terbawa menuju lokasi stasiun GAW Bukit Kototabang. hal ini yang mempengaruhi kondisi kualitas udara di Stasiun GAW Bukit kototabang, hingga konsentrasi PM10 yang terukur mencapai nilai maksimum 511 (ųg/m^3) yang termasuk kedalam kategori berbahaya, Konsentrasi maksimum *Black Carbon* sebesar 6678 (ng/m^3), konsentrasi maksimum CO sebesar 2515 (ppb) dan konsentrasi maksimum ozon permukaan sebesar 39 (ppb).

Analisis Konsentrasi parameter kualitas udara pada tahun 2015

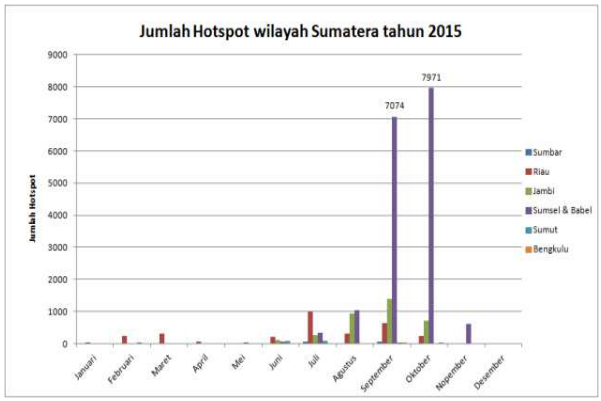






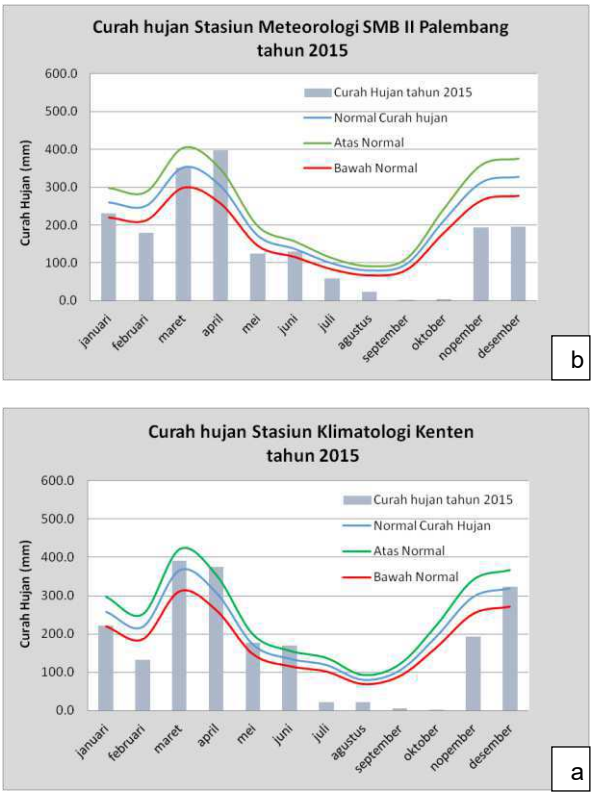


Gambar 10. *Konsentrasi harian PM10 (a), Black Carbon (b), CO(c) dan Ozon Permukaan (d) Stasiun GAW Bukit Kototabang tahun 2015.*



Gambar 11. *Grafik jumlah hotspot wilayah Sumatera pada tahun 2015.*

Gambar 10 merupakan Konsentrasi harian PM10 (a), Black Carbon (b), CO (c) dan Ozon Permukaan (d) pada tahun 2015, dari gambar tersebut terlihat bahwa secara umum konsentrasi maksimum terjadi pada bulan September dan Oktober. Jika dilihat dari kondisi Hotspot/titik panas yang terpantau di wilayah Sumatera pada tahun 2015 (Gambar 11) hotspot tertinggi terpantau di provinsi Sumatera Selatan dan Bangka Belitung dengan jumlah hotspot tertinggi terjadi pada bulan September dan Oktober dengan jumlah hotspot sebanyak 7074 pada bulan September dan 7971 pada bulan Oktober 2015.



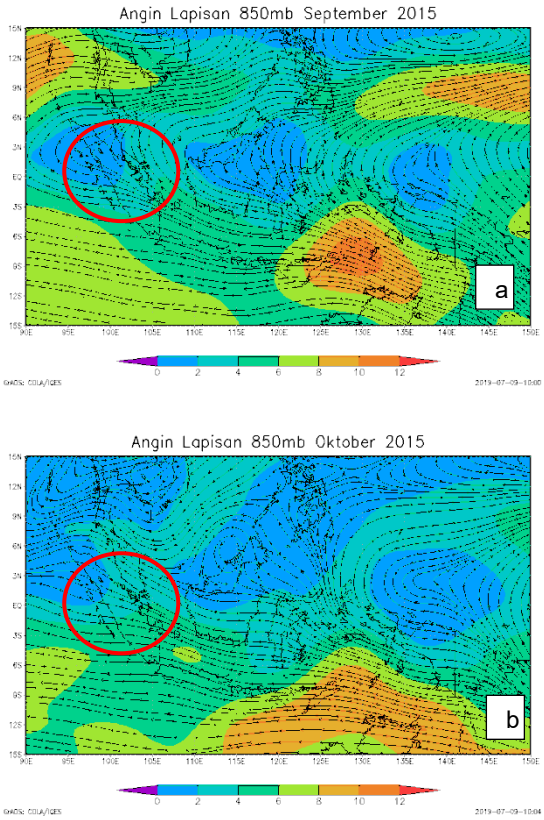
Gambar 12. *Grafik curah hujan dan normal curah hujan Stasiun Meteorologi SMBII Palembang dan Stasiun Klimatologi Kenten tahun 2015.*

Berdasarkan gambar 12,, kondisi curah hujan di Provinsi Sumatera Selatan pada bulan Februari hingga Maret 2015 intensitas curah hujan berada di bawah normal. Curah hujan yang terukur di stasiun Meteorologi SMBII Palembang pada bulan September sebesar 1,0 mm dengan normal curah hujan pada bulan tersebut sebesar 250.7 mm sedangkan curah hujan yang terukur di stasiun Klimatologi Kenten pada bulan September sebesar 5.3 mm dengan normal curah hujan pada bulan tersebut sebesar 105.4 mm. Curah hujan yang terukur di stasiun Meteorologi SMBII Palembang pada bulan Oktober sebesar 3.3 mm dengan curah hujan normal pada bulan tersebut sebesar 212.7 mm, sedangkan curah hujan yang terukur di stasiun Klimatologi Kenten pada bulan Oktober sebesar 0.2 mm dengan normal curah hujan pada bulan tersebut sebesar 193.9 mm. Kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi curah hujan di Provinsi Sumatera Selatan menyebabkan terjadinya kekeringan sehingga mengakibatkan terjadinya kebakaran hutan. hal ini berdampak pada hotspot yang terpantau di Provinsi Sumatera selatan dan Bangka Belitung pada bulan September dan Oktober tahun 2015.

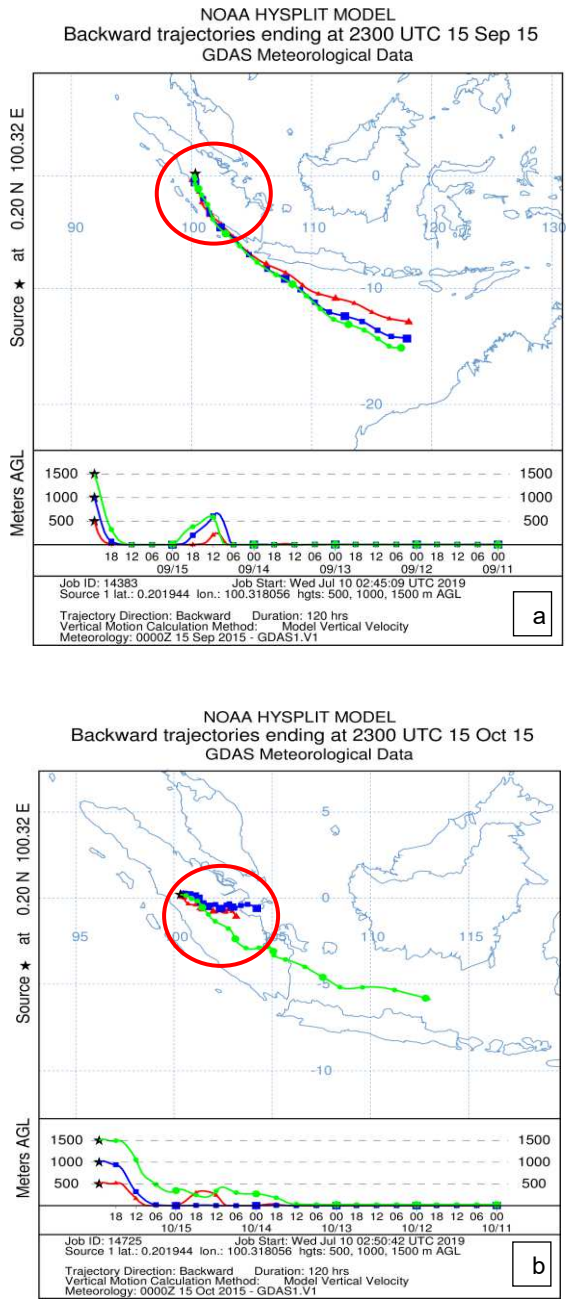
Tabel 3. *Oceanic Niño Index.*

Oceanic Niño Index												
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6

Niño Indeks pada bulan September dan Oktober 2015 menunjukkan nilai positif dimana hal ini menandakan bahwa terjadi El *Niño* dengan kategori kuat sehingga mempengaruhi kondisi curah hujan di Provinsi Sumatera Selatan dan mengakibatkan terjadinya kekeringan yang dapat memicu terjadinya kebakaran hutan.



Gambar 13. *Peta Angin lapisan 850mb pada bulan Februari (a) dan Maret (b) tahun 2015.*



Gambar 14. *Backward Trajectories pada bulan Februari (a) dan Maret (b) tahun 2015.*

Gambar 13 (a dan b) memperlihatkan bahwa pada bulan September dan Oktober pada tahun 2015 arah angin di wilayah pengukuran parameter kualitas udara (Stasiun GAW Bukit Kototabang) bergerak dari Selatan hingga Tenggara. Berdasarkan Backward trajectory pada bulan Februari dan bulan maret 2014 (Gambar 14 a dan b) massa udara yang bergerak menuju lokasi pengukuran parameter kualitas udara berasal dari wilayah terjadinya kebakaran hutan dimana hotspot yang terpantau di wilayah Sumatera Selatan merupakan salah satu indikasi terjadinya kebakaran hutan sehingga polutan yang berasal dari wilayah kebakaran hutan terbawa menuju lokasi stasiun GAW Bukit Kototabang, hal ini yang mempengaruhi kondisi kualitas udara di Stasiun GAW Bukit kototabang tersebut, hingga konsentrasi PM10 yang terukur mencapai nilai maksimum 446 (ɥg/m³) yang termasuk kedalam kategori berbahaya, konsentrasi maksimum Black Carbon sebesar 7461 (ng/m³), konsentrasi maksimum CO sebesar 2462 (ppb)dan konsentrasi maksimum Ozon Permukaan sebesar 44 (ppb).

Kesimpulan

1. Kondisi curah hujan pada bulan Februari dan Maret tahun 2014 yang menyebkan terjadinya kekering menjadi faktor pemicu terjadinya kebakaran di provinsi Riau sehingga menyebabkan konsentrasi parameter kualitas udara meingkat secara signifikan di stasiun GAW Bukit kototabang.

2. Peningkatan konsentrasi parameter kualitas udara pada bulan september dan oktober tahun 2015 dipengaruhi oleh Kebakaran hutan yang terjadi diwilayah Sumatera Selatan yang disebabkan oleh kekeringan akibat berkurangnya curah hujan pada saat terjadi elnino kuat pada tahun 2015.

3. Kebakaran hutan yang terjadinya pada tahun 2014-2015 yang di akibatkan oleh kekeringan hanya memperngaruhi beberapa parameter diantaranya PM10, Black Carbon dan CO.

Daftar Pustaka

Kusumaningtyas ,S.D.A and E. Aldrian, 2016, Impact of the June 2013 Riau province Sumatera, *Environ. Res. Lett.* 11-075007

Kurniawan, Agusta., 2017. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO2, SO2, O3 dan PM10) Di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosainsvol*, 7, (1)

Krisanti, Asistia dan Puji Lestari. 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,* 17(1):100-111

Machiwal, D and M. K. Jha. 2006. Time Series Analysis of Hydrologic Data For Water Resources Planning and Management: A Review. *J. Hydrol. Hydromech.*, 54(3): 237–257

Maslakah, F. A., dan Setiawan, Budi. 2011. Pengaruh Transportasi polutan pada konsentrasi parameter kualitas udara di bukit kototabang: Studi kasus tanggal 22 Februari 2005 dan 6 Oktober 2006 *.Megasains* 3: 22-31.

Nahas, C. N. dan S. Nugroho. 2011. Kondisi kualitas udara bukit kototabang tahun 2011. *Megasains* 2(6): 31-44

Satria,B. , Nahas, A ,C., Kurniawan, E. 2015, *Black Carbon Measurements at Global Atmosphere Watch Bukit Kototabang During Forest Fire Episodes in Sumatra*. BMKG, Jakarta.

Supriyatna, A. 2016. *Peluang kemunculan Hotspot berdasarkan Standardized Precipitation Index di Kalimantan Barat*.STMKG, Jakarta.

Yamanaka, M. D., Jun-Ichi, H., Matsumoto, J., Fukao, S., Winarso, P. A., dan Sribimawati, T. 2002. Spatial and Temporal Variations of the Rainy Season over Indonesia and their Link to ENSO, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80(2):285-310.

Megasains, Vol. 10, No.1, 41-47
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
© GAW BKT, 2019

Identifikasi Osilasi Atmosfer Yang Mempengaruhi Variabilitas Curah Hujan dan Suhu di Bandung

Neneng Sugianti[1] dan Tony Agus Wijaya[2]

Stasiun Geofisika Bandung

Abstrak. Interaksi atmosfer-daratan-lautan di wilayah monsun Asia dan monsun Australia serta Samudera Pasifik salah satunya menghasilkan variabilitas elemen iklim tahunan di wilayah tersebut yang selanjutnya dikenal sebagai TBO. TBO (*Tropospheric Biennial Oscillation*) adalah salah satu bentuk variasi elemen iklim tahunan di lapisan troposfer (dari permukaan sampai tropopause) dengan perioda sekitar 2-3 tahun yang terjadi di wilayah monsun Asia, monsun Australia, lautan India Tropis dan lautan Pasifik Tropis. Proses monsun asia musim panas dan *El nino Southern Oscillation* (ENSO) biasanya dijelaskan dengan skema sistem monsun-atmosfer-laut (*Monsoon-Atmosphere-Ocean System*, MAOS). Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data curah hujan dan suhu rata-rata bulanan, periode pengamatan 1971-2013 di stasiun Geofisika Klas I Bandung. Metode yang digunakan dalam mengidentifikasi pengaruh ENSO terhadap pola curah hujan dan suhu, yaitu menggunakan analisis wavelet. Hasil pengolahan data dan analisis mengindikasikan bahwa curah hujan dan suhu di Bandung tidak terpengaruh ENSO tetapi dominan pengaruh monsun atau siklus satu tahunan dan siklus pengaruh lokal.

Kata kunci: Bandung, Curah Hujan, Wavelet

Abstract. *The interaction of the atmosphere-land-ocean in the Asian monsoon and monsoon regions of Australia and the Pacific Ocean one of which generate annual variability of climatic elements in the region that became known as the TBO. TBO (Tropospheric Biennial Oscillation) is one form of annual climatic element variations in the troposphere (from the surface to the tropopause) with a period of about 2-3 years is happening in the Asian monsoon region, the Australian monsoon, tropical Indian Ocean and tropical Pacific Ocean. Asian summer monsoon mechanism and El nino Southern Oscillation (ENSO) system is commonly expressed in the schema-atmosphere-ocean monsoon (Monsoon-Ocean-Atmosphere System, Maos). The data used in this study consisted of rainfall data and the average monthly temperature, the observation period 1971-2013 in Class I Geophysical station of Bandung. The method used to identify the influence of ENSO on rainfall patterns and temperature, using wavelet analysis. The results of data processing and analysis indicate that precipitation and temperature in Bandung is not affected by ENSO but the dominant influence of the monsoon or annual cycles and cycles of local influence.*

.

Key words: Bandung, Rainfall, Wavelet

Pendahuluan

Tingkat intensitas curah hujan di wilayah tropis, seperti Indonesia, dipengaruhi beberapa faktor, seperti *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ), topografi, siklon, dan konvergensi. Adapun faktor yang dominan mempengaruhi curah hujan adalah *ITCZ* dimana pengaruh aktivitasnya meliputi kawasan yang luas dan hampir sepanjang tahun. Faktor lain yang juga berpengaruh kuat adalah topografi wilayah, seperti yang terjadi di sebagian wilayah Jawa dan Sumatera. Selain kedua faktor tersebut intensitas curah hujan juga dipengaruhi oleh siklon tropis dan konvergensi. Beberapa wilayah Indonesia memiliki intensitas curah hujan yang cukup tinggi akibat pengaruh beberapa faktor tersebut. Pengaruh dominan terutama di Indonesia bagian barat, dan semakin lemah di wilayah timur, kecuali Maluku dan Papua.

Salah satu parameter yang berpengaruh terhadap kondisi cuaca dan iklim adalah *Sea Surface Temperature* (SST), karena laut merupakan sumber utama uap air untuk proses yang terjadi di atmosfer. Semakin hangat SST maka akan semakin banyak uap air yang didistribusikan ke atmosfer, sehingga akan semakin besar kemungkinan terjadinya hujan (Aldrian, 2003). Penelitian dari Hendon (2003) menyimpulkan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara curah hujan untuk wilayah Indonesia dengan SST (SST lokal dan Pasifik). Suhu air laut

nenengsugianti@gmail.com

terutama lapisan permukaan, ditentukan oleh pemanasan matahari yang intensitasnya selalu berubah terhadap waktu. Perubahan suhu ini dapat terjadi secara musiman, tahunan, dan jangka panjang.

Letak geografis Indonesia terletak di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik serta di antara Benua Asia dan Benua Australia. Oleh karena itu, cuaca dan iklim di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer global, regional dan lokal, seperti sirkulasi utara-selatan (*Hadley*), sirkulasi barat-timur (*Walker*) dan sistem angin lokal (Aldrian dkk., 2007). Gangguan terhadap salah satu sistem sirkulasi ini akan mempengaruhi cuaca dan iklim di wilayah Indonesia (Mukarami,dkk. 2000).

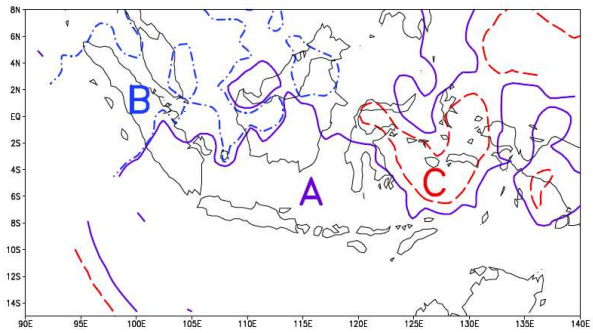
Aktivitas atmosfer di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh peran monsun yang relatif dominan, dan kombinasi interaksi antara *El-Niño and Southern Oscillation* (ENSO), *Dipole Mode Index* (DMI) dan faktor lokal. Adapun faktor utama penyebab terjadinya variabilitas iklim terutama curah hujan yang bersiklus tahunan di wilayah Indonesia adalah fenomena berskala global yang disebut ENSO. Fenomena ENSO memiliki siklus antara 2 hingga 7 tahun. Di wilayah Indonesia, fenomena ENSO ditandai dengan musim kering yang melebihi normalnya. Fenomena ini berbanding terbalik dengan fenomena La-Niña yang ditandai curah hujan melebihi batasan normalnya (Ropelweski dan Halpert, 1987).

Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa terdapat hubungan yang kuat antara curah hujan di wilayah Indonesia dan indikator ENSO, seperti dengan suhu permukaan laut (SST) di wilayah Pasifik Timur (daerah Niño) atau dengan Indeks Osilasi Selatan (SOI=*Southern Oscillation Index*) sebagaimana yang telah banyak dinyatakan oleh beberapa penelitian terdahulu (Haylock dan McBride 2001; Hendon, 2003; Aldrian, 2003; Gunawan, 2006).

Fenomena global *El Nino* merupakan sistem interaksi antara laut dan atmosfer, yang ditandai dengan memanasnya suhu muka laut di Ekuator Pasifik Timur. Dengan kata lain anomali suhu muka laut di wilayah tersebut bernilai positif. Fenomena global *La Nina* sebaliknya, fenomena ini ditandai dengan anomali suhu muka laut di wilayah Pasifik Tengah yang bernilai negatif, artinya suhu muka laut lebih dingin dari rata-rata klimatologisnya. Peristiwa *La Nina* secara umum biasanya memberikan pengaruh pada hujan yang lebih besar dari jumlah normalnya atau lebih besar dari jumlah rata-ratanya. Pengaruh fenomena El-Nino terhadap pola hujan di Indonesia bervariasi tergantung posisi wilayah. Pengaruh El-Nino kuat pada daerah yang berpola hujan monsun, dan lemah pada daerah berpola hujan equatorial dan tidak jelas pada wilayah dengan pola hujan lokal (Tjasyono, 1997).

Selain akibat pengaruh fluktuasi suhu permukaan laut di samudera pasifik (ENSO) dan Samudera Hindia (*Indian Ocean Dipole Mode* atau IODM), pola curah hujan di wilayah Indonesia juga dipengaruhi fenomena fase aktif osilasi intra-musiman yang disebut *Madden-Julian Oscillation* (MJO). MJO merupakan fenomena osilasi tekanan (pola tekanan tinggi-tekanan rendah) dengan periode lebih kurang 48 hari yang menjalar dari barat ke timur. Fenomena ini berawal dari pantai timur Afrika kemudian menuju ke timur dan berakhir di bagian tengah Pasifik. Menurut Geerts and Wheeler (1998) bahwa MJO akan menyebabkan terjadinya variasi pola angin, suhu permukaan laut (SPL), awan dan intensitas hujan. Apabila fase aktif MJO terjadi bersamaan dengan musim hujan (Desember, Januari dan Pebruari) atau angin munson barat maka dapat menyebabkan terjadinya peningkatan intensitas curah hujan.

MJO berosilasi dengan periode sekitar 20 hari sampai 90 hari periode utamanya adalah sekitar 45 hari (Suryantoro, 2004). MJO ditandai oleh pergeseran dari peningkatan atau penurunan curah hujan ke arah timur untuk wilayah yang luas, yang terjadi di atas samudra Hindia hingga samudra Pasifik (Madden and Julian, 1971). Perubahan curah hujan karena MJO terjadi dalam waktu 30 sampai 60 hari, dan hanya terjadi pada tahun-tahun El Nino atau La Nina tidak aktif atau ada tetapi lemah (Hendon, dkk., 1999).



Gambar 1. Zonasi Pola Curah Hujan Indonesia, dengan A: Pola curah hujan monsunal, B: Pola curah hujan ekuatorial, dan C: Pola curah hujan lokal.(Aldrian, 2003).

Pola curah hujan di wilayah Indonesia pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga pola berdasarkan frekuensi dan puncak kejadian musim hujan. Pada Gambar 1 ditunjukkan pembagian wilayah musim hasil penelitian Aldrian dan Susanto (2003), yang membagi wilayah Indonesia menjadi 3 daerah curah hujan dominan (wilayah A, B, dan C) dengan wilayah intermedit ditengahnya, untuk wilayah A ada perbedaan jelas antara musim kemarau dan hujan. SST dan jumlah curah hujan berkurang dari Januari hingga Agustus dan meningkat dari Agustus hingga

Desember. Secara umum pola hujan dibagi menjadi : pola hujan equatorial, yaitu pola hujan 2 puncak (bimodal) yang hampir sepanjang tahun masuk dalam kriteria musim hujan. Dan pola hujan monsunal, yaitu pola hujan dengan 1 puncak hujan (unimodal) yang wilayahnya memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau. Pola hujan lokal (pola curah hujan yang dipengaruhi oleh kondisi fisik lokal setempat). Wilayah dengan pola hujan lokal ini memiliki distribusi hujan bulanan kebalikan dengan pola monsun. Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodal (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsun.

Yasunary, (1981) dan Mulyana, (1986) menyatakan bahwa salah satu karakteristik iklim yang sangat penting dalam penelitian di suatu wilayah adalah periodisitas curah hujan. Kedua peneliti tersebut telah mengamati adanya beberapa macam periodisitas curah hujan khusus untuk Pulau Jawa. Mulyana (1986) menggunakan beberapa metode analisis spektral untuk mengetahui periodisitas curah hujan di Ketapang. Beberapa metode yang digunakannya adalah metode "*windowing*", metode klimatologi dan metode FFT (*Fast Forier Transformation*). Kelemahan dari motode FFT adalah ketidakmampuan dalam mengidentifikasi waktu terjadinya frekuensi dominan dari periodisitas curah hujan yang ada di suatu wilayah.

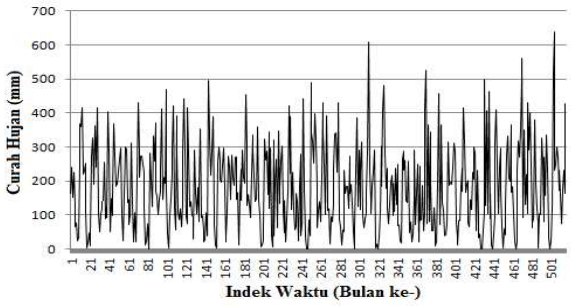
Selain analisis menggunakan FFT, analisis wavelet menjadi metode yang handal untuk menganalisis variabilitas curah hujan. Tranformasi ini merubah fungsi domain waktu menjadi fungsi domain frekuensi. Wavelet dapat digunakan untuk menentukan baik mode dominan variabilitas ataupun variasi mode tersebut terhadap waktu. Transformasi wavelet telah digunakan untuk berbagai penelitian atmosfer dan klimatologi, seperti konveksi tropis (Weng dan Lau 1994), (Gu dan Philander 1995; Wang dan Wang 1996). Sediyono dkk. (2009) melakukan analisis wavelet dan variabilitas temporal di wilayah kabupaten Bandung dengan menggunakan data curah hujan dan debit bulanan dari tahun 2001-2011. Hasil analisis menunjukkan bahwa data curah hujan bulanan mempunyai variabilitas tinggi dan mempunyai osilasi dominan sekitar 8 hingga 16 bulan (AO).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka variabilitas atau periodisitas curah hujan menjadi penting untuk diteliti peranannya di suatu wilayah iklim. Pada penelitian ini dilakukan analisis identifikasi osilasi atmosfer yang mempengaruhi curah hujan dan suhu di wilayah Bandung, Pentingnya hal ini diteliti karena iklim di Bandung menarik untuk diteliti dimana wilayah tersebut terletak di tengah pulau Jawa Bagian Barat berbentuk cekungan dengan elevasi tinggi yang menyebabkan iklimnya agak berbeda dengan wilayah sekitarnya dan mengalami perkembangan yang sangat pesat, baik sebagai kota wisata, wilayah perkebunan/pertanian ataupun kawasan industri. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui osilasi atmosfer yang dominan mempengaruhi curah hujan dan suhu di wilayah Bandung, sehingga diketahui osilasi yang berperan utama mempengaruhi iklim wilayah ini.

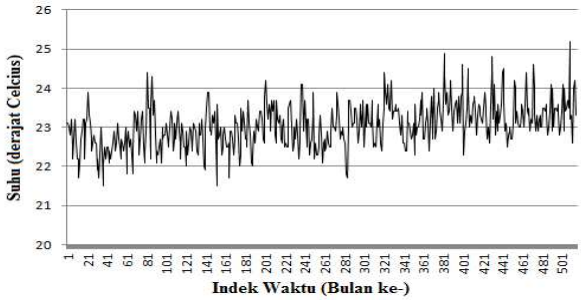
Metodologi

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari data rata-rata bulanan curah hujan dan suhu udara permukaan pada periode pengamatan 1971-2013 di wilayah Bandung. Lokasi stasiun pengamatan data yang digunakan adalah Stasiun Geofisika Klas I Bandung yang terletak di jalan Cemara no. 66 kota Bandung propinsi Jawa Barat, koordinat 107 °36' BT- 06°55' LS, ketinggian 791 m dengan nomor stasiun 96783. Berdasarkan data curah hujan yang dicatat di Stasiun Geofisika Klas I Bandung tersebut diketahui bahwa intensitas curah hujan tertinggi adalah 637 mm yaitu pada bulan Desember 2012, selain itu pada bulan Agustus tahun 1991, 1995, 2006 dan 2007 tidak tercatat adanya hujan. Suhu udara rata-rata bulanan tertinggi yang tercatat adalah 24,9°C yaitu pada bulan Oktober tahun 2002, sedangkan suhu rata-rata bulanan terendah adalah 21,5°C terjadi pada bulan Januari tahun 1974 dan bulan Agustus tahun 1983.



Gambar 2. Plot curah hujan rata-rata bulanan dari tahun 1971-2013



Gambar 3. Sama dengan Gambar 2 untuk suhu.

Metode Transformasi Wavelet

Pada tahap pengolahan data dilakukan normalisasi terhadap standar deviasinya, meskipun langkah ini tidak harus dilakukan. Normalisasi bertujuan untuk mempermudah pada perbandingan hasil plot gambarnya. Normalisasi dilakukan sehingga didapatkan indek data, persamaan normalisasi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\boldsymbol{x_i} = \frac{x_i - \bar{x_i}}{\sqrt{var}} \quad (1)$$

dimana x_i adalah data ke-i, var adalah varian data.

Tranformasi Fourier adalah sebuah transformasi integral yang menyatakan kembali sebuah fungsi dalam fungsi basis sinusoidal, yaitu sebuah fungsi penjumlahan sinusoidal. Transformasi Fourier merupakan suatu model transformasi yang merubah fungsi domain waktu menjadi domain frekuensi. Metode análisis dalam domain frekuensi digunakan terutama untuk filtering data. Dengan menggunakan transformasi Fourier, sinyal atau *time series* dapat dilihat sebagai suatu obyek dalam domain frekuensi. Analisis frekuensi dari suatu sinyal atau *time series* juga dapat dilakukan menggunakan metode wavelet.

Torrence dan Compo, (1998) dengan menggunakan metode transformasi wavelet untuk mengidentifikasi suatu fenomena sebagai penyebab siklus variabel iklim. Fenomena ini memiliki skala waktu osilasi sekitar 2-7 tahun atau dikenal sebagai fenomena ENSO yang dapat mengakibatkan bencana kekeringan dan banjir. Saat ini kebanyakan pengkajian terhadap sinyal variabilitas iklim disebabkan oleh ENSO, oleh karena itu maka beberapa penelitian yang terkait dengan dampak ENSO terhadap curah hujan bulanan dilakukan di berbagai dunia, seperti oleh Ropelewski dan Halpert, 1987; Pabón dan Delgado 2008.

a. Windowed Fourier Transform (WFT)

WFT merupakan salah satu alat analisis untuk mengekstraksi informasi frekuensi lokal dari sinyal. Transform Fourier dilakukan dengan menggeser segmen dengan panjang T pada serangkaian runtun waktu (*time series*) dengan interval dt dan jumlah panjang Ndt, sehingga mengembalikan frekuensi yang ada pada *time series* tersebut. Segmen yang digunakan dapat berupa fungsi *window* sembarang misalnya *box* atau Gaussian (Kaiser 1994). Mengunakan metode ini adalah tidak efektif apabila terdapat beberapa frekuensi dominan di dalam sinyal atau time series, karena membutuhkan panjang *window* yang berbeda-beda.

b. Wavelet transform

Wavelet awalnya dikemukakan oleh Jean Morlet dan Alex Grossmann pada awal tahun 1980-an yang berarti gelombang kecil. Suatu paket gelombang dengan durasi terbatas dan frekuensi tertentu dapat digunakan sebagai fungsi *window* untuk analisis suatu sinyal. Paket gelombang ini biasanya disebut *Wavelet* yang merupakan gelombang sinus dikalikan dengan gelombang *envelope*-nya biasanya bentuk fungsi Gaussian. Transformasi wavelet dapat digunakan untuk menganalisis *time series* yang mengandung data *nonstationer* yang terdiri banyak frekuensi (Daubechies 1990). Transformasi wavelet kontinyu dari sekumpulan data diskrit didefinisikan sebagai konvolusi dari xn dengan skala (s) dan translasi dari fungsi gelombang, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^* \left[\frac{(n'-n)\delta t}{s} \right] \quad (2)$$

dimana ψ adalah fungsi gelombang, n adalah data dan t adalah waktu, (*) mengindikasikan konjugasi.

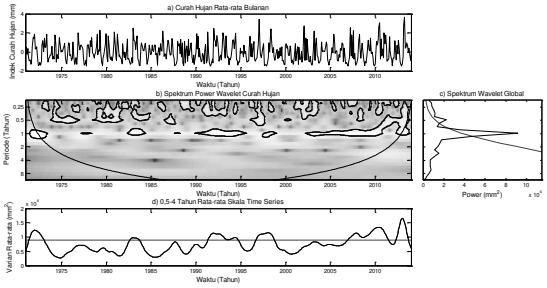
Hasil dan Pembahasan

Salah satu metode untuk mengetahui periodisitas iklim suatu wilayah adalah dengan mengidentifikasi variabilitas curah hujan dan suhu di wilayah tersebut. Variabilitas curah hujan dan suhu yang terjadi pada suatu wilayah dapat menggambarkan berbagai siklus atau osilasi yang berperan terhadap iklim di wilayah tersebut.

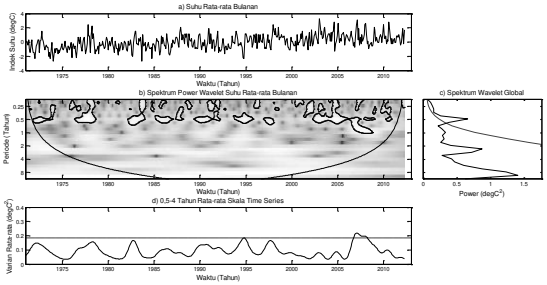
Variabilitas curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh monsun barat dan monsun timur akibat dari pergeseran ITCZ. Penyinaran matahari pada bulan Juli mengakibatkan musim panas di belahan bumi utara, sehingga ITCZ berada di belahan bumi utara dan angin bergerak dari selatan menuju utara ekuator atau disebut monsun timur. Penyinaran matahari pada pertengahan bulan Oktober hingga Pebruari mengakibatkan musim panas di belahan bumi selatan, sehingga ITCZ berada di belahan bumi selatan dan angin bergerak dari utara menuju selatan ekuator atau disebut monsun barat. Monsun timur mempengaruhi variabilitas curah hujan di Indonesia pada bulan Juni-Juli-Agustus (musim kemarau), sedangkan monsun barat mempengaruhi curah hujan di Indonesia pada bulan Desember-Januari-Pebruari (musim hujan) (McBride dan Winarso, 2002).

Pada Gambar 4 ditunjukkan a) indek data b) spektral wavelet, c) global spektral dan d) rata-rata power spektral pada 0,5 hingga 4 tahunan. Indek data merupakan normalisasi dari data curah hujan sehingga memudahkan pada perbandingan plot power spektralnya. Spektral power wavelet

dari data curah hujan menunjukkan secara temporal perubahan atau variabilitas curah hujan terhadap waktu. Berdasarkan spektral wavelet terlihat bahwa periodisitas atau variabilitas dominan curah hujan memiliki siklus satu tahunan (AO), selain itu wilayah Bandung juga dipengaruhi efek lokal seperti ditunjukkan spektral power pada periode kurang dari 6 bulan (SAO). Sediyono dkk. (2009) melaporkan bahwa pada musim penghujan bulan Desember 2000 dan Januari 2001 terdapat deret hari kering sekitar 10 hari di Jawa Barat, yang diperkirakan disebabkan oleh MJO. Pada Gambar 4 d), dari rata-rata spektral power wavelet pada tahun 2001 memang curah hujan di wilayah Bandung relatif rendah bila dibandingkan rata-rata pada tahun sebelum dan sesudahnya, hal ini kemungkinan mengindikasikan adanya pengaruh osilasi MJO, dimana pada tahun tersebut MJO tidak aktif/lemah.



Gambar 4. a) Indeks curah hujan, b) spektral wavelet, c) Spektral Fourier, d) rata-rata power dari (b) untuk periode 0,5 hingga 4 tahun berdasarkan data curah hujan Bandung tahun 1971-2013.



Gambar 5. Sama dengan Gambar 4 untuk suhu.

Spektral power global menegaskan bahwa dominasi siklus satu tahunan (AO) sangat kuat disamping siklus 6 bulanan (SAO) yang juga berpengaruh. Namun demikian tidak jelas adanya pengaruh ENSO yang biasanya dicirikan oleh siklus atau osilasi 4 tahunan. Hasil ini dengan jelas mengindikasikan bahwa monsun dan efek lokal berperanan kuat terhadap intensitas curah hujan di wilayah Bandung. Rata-rata 0,5 hingga 4 tahunan mengindikasikan rentang waktu dimana akumulasi curah hujan tinggi dan rentang waktu akumulasi curah hujan rendah. Hasil yang menarik adalah rendahnya nilai rata-rata curah hujan bulanan pada tahun 1975, 1985, 1995 dan tahun 2000. Periode 1975-1980 mengindikasikan total akumulasi curah hujan wilayah Bandung relatif rendah di bandingkan interval periode yang lain. Periode ini kemungkinan pengaruh fenomena global dengan aktifnya pengaruh El Nino yang didukung pengaruh lokal wilayah tersebut. Meskipun demikian, karena kuatnya pengaruh lokal sehingga pengaruh El Nino tidak tampak pada power spektral wavelet yaitu periode 4 tahunan. Hal ini sesuai dengan penelitian Tjasyono, (1997) dimana pengaruh El Nino tidak jelas pada wilayah dengan pola hujan lokal, meskipun wilayah Bandung berpola AO tetapi peran lokal dominan.

SAO merupakan fenomena osilasi atmosfer musiman yang mempunyai periode osilasi 91-180 harian atau osilasi 6 bulanan. Osilasi ini teridentifikasi pada spektral power global data curah hujan Gambar 4 c) dan juga menjadi osilasi yang dominan pada periodisitas suhu di wilayah Bandung (Gambar 5 c). AO merupakan fenomena osilasi atmosfer tahunan yang mempunyai periode osilasi 181-360 harian atau osilasi 1 tahunan. Berdasakan spektral power pada Gambar 4 b, c, dan d terlihat osilasi satu tahunan dari periodisitas curah hujan sangat dominan. QBO berosilasi dalam jangka waktu yang bervariasi sekitar 24 bulan hingga 30 bulan. Periode osilasi tercepat adalah 20 bulan dan paling lambat adalah 36 bulan, sedangkan periode rata-rata adalah 28 bulan. Osilasi QBO tidak teridentifikasi pada periodisitas curah hujan dan suhu di wilayah Bandung.

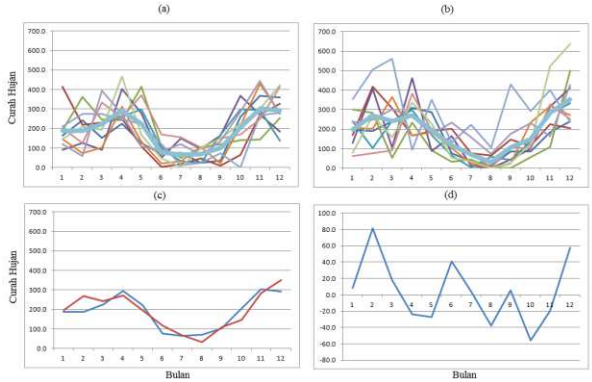
Osilasi 64 bulan berhubungan erat dengan fenomana El Niño (kondisi hangat) dan La Niña (kondisi dingin) di Pasifik yang berosilasi 2-7 tahun dan dikenal dengan siklus ENSO (Peel dkk.,2002: Torrence dan Compo, 1998). Dua El Niño terbesar pada abad ini 1982/1983 dan 1997/1998 diperparah oleh suhu muka laut di Samudera Hindia yang dingin di sebelah timur dan panas di bagian barat, yang disebut *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) positif. Bila dilihat pada spektral wavelet dan rata-rata power spektral, fenomena El Nino ini tidak dominan berpengaruh terhadap curah hujan dan suhu di wilayah Bandung. Wilayah Bandung mengalami beberapa kali musim kering kritis berdasarkan rekaman data di Stasiun Geofisika Bandung, yaitu pada bulan Agustus tahun 1991, 1995, 2006 dan 2007 tidak mencatat adanya hujan, kejadian ini justru pada tahun-tahun yang bukan terindikasi EL Nino.

Fenomena periodik atmosfer atau osilasi atmosfer merupakan gejala atmosfer yang terjadi karena perbedaan distribusi energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi. Secara ringkas osilasi atmosfer dapat dibedakan menjadi osilasi intra/sub musiman atau *inter seasonal oscillation/Madden Julian Oscillatio*n (ISO/MJO)

yang merupakan osilasi sub musiman, *southern annual oscillation* (SAO) yang merupakan osilasi atmosfer osilasi setengah tahunan atau (monsunal), *annual oscillation* (AO) yang memiliki periode osilasi satu tahunan, *Quasi Biennial Oscilation* (QBO) dan fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dengan periode osilasi 2 hingga 7 tahunan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut mengindikasikan bahwa osilasi yang terjadi di wilayah Bandung cenderung SAO dan AO, dan tidak mengindikasikan peran kuat ENSO. Pengaruh letak topografi dan letak geografi suatu wilayah dapat menjadi penyebab utama terjadinya cuaca yang berubah dalam pola skala luas dari suatu sistem iklim, khususnya pada wilayah kepulauan dengan deretan pegunungan yang tinggi. Menurut penelitian Winarso dan Mc Bride, (2002), bahwa pengaruh topografi dapat juga menyebabkan terjadinya variasi hujan pada suatu kawasan, khususnya antara satu sisi suatu pegunungan dengan sisi lainnya.

Pada Gambar 6 ditunjukkan plot rata-rata curah hujan pada dekade awal dan akhir dari rekaman data sejak 1971 hingga 2013, dari Gambar tersebut mengindikasikan bahwa pola curah hujan tidak berbeda jauh antara dekade awal dan dekade akhir.

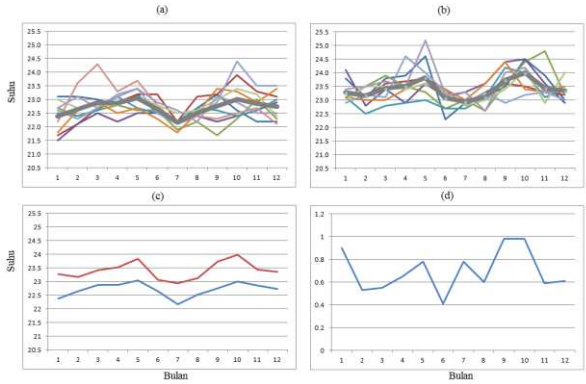


Gambar 6. (a) Plot curah hujan pada dekade awal (1971-1980); (b) sama dengan (a) pada dekade akhir (2005-2013); (c) plot rata-rata curah hujan dekade awal (biru), dekade akhir (merah) dan (d) selisih rata-rata suhu dekade akhir dan dekade awal. Garis biru tebal pada (a) dan (b) adalah grafik nilai rata-rata 10 tahun.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa pola curah hujan siklus tahunan cenderung stabil, perubahan kecil kemungkinan disebabkan oleh gangguan lokal akibat pengaruh topografi. Adanya pengaruh kondisi lokal seperti topografi tidak bisa diabaikan karena merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi tingkat variabilitas hujan pada skala mikro (Haylock dan McBride, 2001; Aldrian dan Djamil, 2008).

Gambar 7 sama dengan Gambar 6 tetapi untuk suhu hasil pengolahan data suhu dari pengamatan di stasiun Geofisika Bandung. Berbeda dengan pola spektral power wavelet dari data curah hujan, pola untuk suhu mengindikasikan siklus 6 bulanan yang sangat kuat (SAO). Berdasarkan spektral wavelet terlihat bahwa variabilitas dominan suhu sangat dipengaruhi efek lokal. Power spektral global menegaskan bahwa dominasi siklus 6 bulanan dan pengaruh lokal atau periode pendek. Hal ini dengan jelas mengindikasikan bahwa monsun dan efek lokal berperan kuat terhadap dinamika intensitas suhu di Bandung. Rata-rata power spektral pada rentang 0,5 hingga 4 tahunan mengindikasikan rentang waktu dimana akumulasi suhu tinggi dan rentang waktu akumulasi suhu rendah. Periode 2000-2005 mengindikasikan total akumulasi suhu yang cenderung menurun tetapi curah hujan cenderung meningkat di wilayah Bandung. Periode ini kemungkinan terkait dengan aktifnya pengaruh global yang didukung pengaruh lokal wilayah tersebut.

Pada Gambar 7 ditunjukkan plot suhu sama dengan Gambar (6), berdasarkan Gambar 7 mengindikasikan adanya perubahan dimana pada dekade akhir suhu cenderung lebih tinggi daripada suhu dekade awal. Kenaikan suhu ini kemungkinan akibat pemanasan global terkait perubahan iklim. Kenaikan suhu kemungkinan juga akibat perubahan tata guna dan fungsi lahan. Perubahan fungsi lahan dari lahan pertanian menjadi kawasan industri atau perumahan berkontribusi terhadap laju kenaikan suhu di wilayah Bandung. Hal menarik dari plot curah hujan dan suhu pada dekade awal dan dekade akhir adalah adanya perbedaan antara pola perubahan curah hujan dan pola perubahan suhu, pola curah hujan cenderung stabil tetapi pola suhu cenderung ada pergeseran peningkatan suhu rata-rata sebesar 0,69ºC. Pola curah hujan yang stabil tetapi memiliki peningkatan intensitas yang masif, dimana peningkatan intensitas terbesar terjadi pada bulan Pebruari dan terjadi penurunan intensitas pada bulan Agustus dan Oktober.



Gambar 7. Sama dengan Gambar 6 untuk suhu. Garis abu-abu tebal pada (a) dan (b) adalah grafik nilai rata-rata 10 tahun.

Kesimpulan

Dari pengolahan dan analisis data curah hujan dan suhu rata-rata bulanan dari tahun 1971 hingga 2013 di Stageof Bandung dengan menggunakan metode *wavelet* dapat disimpulkan bahwa : Pada tahun 2001 terdapat deret hari kering di Jawa Barat, yang diperkirakan disebabkan pengaruh MJO dimana pada tahun tersebut MJO tidak aktif/lemah. Berdasarkan spektral power wavelet pada tahun 2001 teridentifikasi curah hujan di wilayah Bandung rendah, hal ini kemungkinan mengindikasikan adanya pengaruh MJO. Berdasarkan power spektral wavelet dan rata-rata power spektral 0,5 hingga 4 tahun, fenomena ENSO ini tidak dominan berpengaruh terhadap curah hujan dan suhu di wilayah Bandung, tetapi osilasi dominan yang terjadi di wilayah Bandung adalah SAO (monsunal) dan AO.

Pengaruh fenomena global ENSO tidak teridentifikasi dari power spektral wavelet akibat kuatnya SAO, AO dan pengaruh lokal. Berdasarkan pola curah hujan dan suhu pada dekade awal (1971-1980) dan dekade akhir (2004-2013) mengindikasikan bahwa pola curah hujan stabil, tetapi pola suhu cenderung mengalami pergeseran peningkatan suhu rata-rata sebesar 0,69ºC.

Ucapan Terima Kasih

Kepada Kepala Stasiun Geofisika Klas I Bandung, Bapak Tony Agus Wijaya dan Kepala Seksi Data dan Informasi, Bapak Rasmid atas penggunaan data suhu dan data curah hujan.

Daftar Pustaka

Daubechies, I.1990. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 36**:**961–1004.

Geerts B., and M. Wheeler.1998. *The Madden Julian Oscillation*, *(http://www-das.uwyo.edu/ ~geerts/cwx/notes/chap12/mjo.html.)*

Gu, D., dan Philander, S. G. H. 1995. Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century. *J. Climate*, 8:864-876.

Gunawan,D.2006. *Atmospheric Variabilty in Sulawesi, Indonesia - Regional Atmospheric Model Results and Observations*. Disertasi. Universitas Gottingen.

Haylock, M., dan McBride, J. 2001. Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall. *J. Climate*, 14**:**3882–3887.

Hendon H. 2003. Indonesian Rainfall Variability : Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction. *Journal of Climate*,16:1775 – 1790.

Madden R.A. dan Julian, P.R. 1971. Description of a 40-50 day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific, *J. Atmos.Sci*, 28:702-708.

Mukarami, Takio., dan Zadrach L. Dupe. 2000. Interannual Variability of Convective Intensity Index Over Indonesia and Its Relationship with Enso. *J. Meteorologi dan Geofisika*, 1 (4):1-23.

Mulyana. 1986. *Pengkajian Sifat Hujan di Ketapang (Lampung Utara) Suatu Pembahasan dengan Analisis Spektral*. Tesis Magister Sains. Jurusan Statistika FPS-IPB,Bogor.

Pabón J.D.,dan Delgado, J.D. 2008. *Intraseasonal Variability of Rainfall over Northen South America and Caribbean Region*, Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 7.

Peel M.C., McMahon, T.A., dan Finlayson B.L 2002. Variability of Annual Precipitation and Its Relationship to El Niño-Southern Oscillation. *J. of Climate*, 15 (6):545-551.

Ropelewski, C. F., dan Halpert, M. S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nin˜o/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev*, 115**:** 1606–1626.

Sediyono, E., Y.Nataliani., dan Rorimpandey, C.M. 2009. Klasifikasi Sidik Jari dengan Menggunakan metoda Wavelet Symlet. *Jurnal Informatika*, 5(2).

Suryantoro, A. 2004. Fenomena MJO/ISO dan Hubungannya dengan Pola Aktivitas Awan Konvektif dan Curah Hujan di Lampung, Sumatera Selatan dan Aceh. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 5(4):30-45. BMG, Jakarta

Torrence, C., dan Compo, G.P. 1998. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79:61-78.

Tjasyono B.1997. Mekanisme fisis para, selama, dan pasca El Niño. *Workshop Kelompok Peneliti Dinamika Atmosfer* :13-14.

Weng, H., dan Lau, K.M. 1994. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. *J. Atmos. Sci*, 51**:**2523–2541.

Wang, B. 1995. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. *J. Climate*, 8:267–285.

Wang., dan Wang, Y.1996. Temporal structure of the Southern Oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis. *J. Climat*e, 9**:**1586–1598.

Winarso, PA., dan McBride, J.2002. Iklim. *Dalam*: Partridge IJ dan Ma'shum M, editor. *Kapan Hujan Turun? Dampak Osilasi Selatan dan El Nino di Indonesia*. Queensland: Department of Primary Industries: 1-11.