

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

VOL 14 | NO.1 | APRIL 2023

ANALISIS PENGARUH KEJADIAN EL NINO SOUTHREN OSCILLATION (ENSO) DI WILAYAH MANOKWARI SELATAN PERIODE TAHUN 2015 – 2021
GHAZIAN HIRZI HANAFI, ADRIANSYAH, KHARIR FRESTIA DEASTARI

ANALISIS MUSIM SIKLON TROPIS 2021/2022 DI SAMUDRA HINDIA SELATAN INDONESIA
KIKI, FAKHRUL ALAM, RUDY HENDRIADI

IDENTIFIKASI QUASI-LINEAR CONVECTIVE SYSTEM MENGGUNAKAN RADAR C-BAND DI WILAYAH MAKASSAR (STUDI KASUS DESEMBER 2018 – MEI 2019)
MUHAMMAD ARIEF RAHMAN SIREGAR, HASTI AMRIH REJEKI

PERBANDINGAN MODEL PREDIKSI RADIASI MATAHARI BERBASIS MESIN PEMBELAJARAN PADA STASIUN METEOROLOGI FATMAWATI SOEKARNO BENGKULU
DODI ARDIANSYAH, DIAH NOVITA ASTUTI

SIMULASI DISPERSI PERBANDINGAN PM_{2.5} SAAT HARI TANPA HUJAN (HTH) DAN HARI LIBUR TAHUN BARU (HLTB) DI SUMATERA BARAT DENGAN MODEL WEATHER RESEARCH AND FORECASTING - CHEMISTRY (WRF-CHEM)
KIAGUS ARDI ZULISTYAWAN, KHARIR FRESTIA DEASTARI, DHIYAU QALBI S, RAIHAN FALAH

ANALISIS PERIODE ULANG CURAH HUJAN DI SULAWESI TENGGARA MENGGUNAKAN METODE IWAI KADOYA
HENDRI SATRIA WD, DEWI TAMARA QOTHRUNADA

MEGASAINS

VOLUME 14

NOMOR 1

HALAMAN
1 - 46

BKT
APRIL 2023

P-ISSN 2086-5589
E-ISSN 2723-2239



9 772086 558904



9 772723 223905



Vol. 14, No.1 – April 2023

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

Sugeng Nugroho, M.Si

REDAKTUR KEPALA

Reza Mahdi, ST, MM

REDAKTUR

Darmadi, ST

EDITOR TAMU

Dr. Hamdi Rivai

Dr. Fajar Gumbira

Alberth Christian Nahas, MCC, P.hD

Dr. Ida Pramuwardani

REVIEWER

Prof. Vera Bachtiar

Dr. Ardhasena Sopaheluwakan

Dr. Donaldi Permana

Supari, PhD

Dr. Supriadi Rohadi

Dr. Erwin Syah Makmur

Dr. Nofi Yetri Sudiar

Dr. Marzuki

Dr. Didin Agustan Permadi

Dr. Ahmad Faqiq

Dr. Perdinan

Dr. Deni Okta Lestari

Dr. Eng. Indra Chandra

EDITOR

Andi Sulistiyono, S.Si

Dodi Saputra, S.Si

Tanti Tritama Okaem, S.Si

Ikhsan Buyung Arifin, S.Tr

DESAIN GRAFIS DAN FOTOGRAFER

Rinaldi, A.Md

Dhiyaul Qalbi Syofyan, S.Tr

Soni Miftah Pratama, S.Tr

SEKRETARIAT

Diko Revano Umbara, SE

Fajri Zulginno, S.T

Rendi Septa Davi, S.Tr

Dwiky Pujo Pratama, S.Tr

Quartha Rivaldo, S.Tr

Iman Ahmadi Hardian, S.Si

Kharir Frestia Deastari, S.Tr.Klim

Kiagus Ardi Zulistiawan, S.Tr.Klim

Ridwan, S.Tr.Inst

Rizka Fayu Fadila, A,Md

Ibrahim

MEGASAINS

MEGASAINS merupakan buletin yang diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang sebagai media penerbitan 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 8 halaman pada kertas ukuran A4; dengan margin atas, bawah, kiri, dan kanan 2.5 cm; dua kolom; font Arial. Judul ditulis menggunakan font 14 pts, rata kiri, spasi tunggal, huruf kapital 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 pts, spasi tunggal dan disertai dengan 2-5 kata kunci.

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

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

-halaman ini sengaja dikosongkan-

Pengantar Redaksi

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kami ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan izin-Nya lah Jurnal Megasains Volume 14 No. 1 tahun 2023 ini dapat terbit sebagaimana yang diharapkan.

Jurnal Megasains didedikasikan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) 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 2 tahun 2019 kami sudah menerapkan sistem jurnal online yang memudahkan para penulis untuk mengirim naskahnya, kemudian memantau progress review hingga kemudian mendapat notifikasi diterima atau harus diperbaiki. Dari sisi Redaksi dan Mitra Bestari selaku tim *review* dapat memberi notifikasi semua proses penerimaan naskah hingga kemudian terbit.

Akhir kata, semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat kepada khalayak ramai dalam bagian usaha bersama untuk mencerdaskan bangsa. Kami ucapkan terima kasih kepada para penulis. Tim reviewer dan Tim Redaksi yang telah bekerja keras demi terbitnya Volume 14 No.1 tahun 2023 ini.

Sekian, wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bukit Kototabang, April 2023

Redaktur

Daftar KTI

	Halaman
ANALISIS PENGARUH KEJADIAN EL NINO SOUTHREN OSCILLATION (ENSO) DI WILAYAH MANOKWARI SELATAN PERIODE TAHUN 2015 – 2021 Ghazian Hirzi Hanafi, Adriansyah, Kharir Frestia Deastari	1-8
ANALISIS MUSIM SIKLON TROPIS 2021/2022 DI SAMUDRA HINDIA SELATAN INDONESIA Kiki, Fakhrol Alam, Rudy Hendriadi	9-15
IDENTIFIKASI QUASI-LINEAR CONVECTIVE SYSTEM MENGGUNAKAN RADAR C-BAND DI WILAYAH MAKASSAR (Studi kasus Desember 2018 – Mei 2019) Muhammad Arief Rahman Siregar, Hasti Amrih Rejeki	16-25
PERBANDINGAN MODEL PREDIKSI RADIASI MATAHARI BERBASIS MESIN PEMBELAJARAN PADA STASIUN METEOROLOGI FATMAWATI SOEKARNO BENGKULU Dodi Ardiansyah, Diah Novita Astuti	26-32
SIMULASI DISPERSI PERBANDINGAN PM _{2.5} SAAT HARI TANPA HUJAN (HTH) DAN HARI LIBUR TAHUN BARU (HLTB) DI SUMATERA BARAT DENGAN MODEL WEATHER RESEARCH AND FORECASTING CHEMISTRY (WRF-CHEM) Kiagus Ardi Zulistyawan, Kharir Frestia Deastari, Dhiyaul Qalbi S, Raihan Falah	33-38
ANALISIS PERIODE ULANG CURAH HUJAN DI SULAWESI TENGGARA MENGGUNAKAN METODE IWAI KADOYA Hendri Satria WD, Dewi Tamara Qothrunada	39-46

ANALISIS PENGARUH KEJADIAN *EL NINO SOUTHREN OSCILLATION* (ENSO) DI WILAYAH MANOKWARI SELATAN PERIODE TAHUN 2015 - 2021

THE INFLUENCE OF EL NINO SOUTHREN OSCILLATION (ENSO) IN MANOKWARI SELATAN

Ghazian Hirzi Hanafi^{*}, Adriansyah², Kharir Frestia Deastari³

¹Stasiun Klimatologi Merauke, Jl. Poros SP2, Yasa Mulya, Tanah Miring, Kab. Merauke

²Stasiun Klimatologi Manokwari Selatan, Jl. Manokwari - Bintuni, Ransiki Kota, Ransiki, Kab. Manokwari Selatan, Papua Barat

³Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang,

**E-mail: ghazian.hanafi@bmet.go.id*

Naskah masuk: 21 Nopember 2022 Naskah diperbaiki:13 Januari 2023Naskah diterima:10 Maret 2023

ABSTRAK

Fenomena yang mempengaruhi curah hujan salah satunya adalah ENSO. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ENSO terhadap curah hujan di Manokwari Selatan. Analisis *boxplot* dan total curah hujan digunakan untuk mengetahui dampak dari ENSO. Secara umum, pengaruh ENSO pada periode musiman di Manokwari Selatan terjadi pada periode tertentu. Seperti pengaruh La Nina yang memiliki dampak signifikan pada periode JJA dan SON. Dampak yang terjadi yaitu adanya kenaikan intensitas curah hujan dari rata-ratanya pada kondisi Normal. Kenaikan terjadi pada pos curah hujan Warsui, Oransbari, Gayabaru, dan Ransiki. Sementara itu, pengaruh El Nino juga terjadi namun hanya pada periode JJA. Pada periode tersebut total curah hujan mengalami penurunan sebesar 75% (Warsui), 54% (Oransbari), dan 64% (Ransiki). Terdapat juga pengaruh ENSO yang ditinjau dari jangka waktu tahunan. Pengaruh ENSO dalam jangka waktu tahunan hanya terlihat berdampak pada wilayah yang memiliki tipe pola hujan ekuatorial yaitu pos curah hujan Warsui dan Ransiki. Kedua pos curah hujan tersebut dapat mengalami kenaikan rata-rata dan total curah hujan tahunannya berkisar antara 2% hingga 237% pada kondisi La Nina. Sebaliknya pada kondisi El Nino, terjadi penurunan rata-rata dan total curah hujan hingga mencapai 37%.

Kata kunci: ENSO, Curah Hujan, Musiman, Tahunan

ABSTRACT

El Niño–Southern Oscillation (ENSO) is one of the phenomena that affect rainfall. This study aims to determine the effect of ENSO on rainfall in Manokwari Selatan. Boxplot analysis and total rainfall were used to determine the impact of ENSO. In general, the effect of ENSO on the seasonal period in South Manokwari occurs over a certain period. Like the La Nina influence which has a significant impact on the JJA and SON periods. The impact that occurs is an increase in the intensity of rainfall from the average in normal conditions. The increase occurred at Warsui, Oransbari, Gayabaru, and Ransiki rainfall posts. Meanwhile, the effect of El Nino also occurred but only during the JJA period. During this period, total rainfall decreased by 75% (Warsui), 54% (Oransbari), and 64% (Ransiki). There is also the effect of ENSO in terms of an annual period. The effect of ENSO in the annual period is only seen to have an impact on areas that have an equatorial type of rainfall pattern, namely the Warsui and Ransiki rainfall posts. Both rainfall posts can experience an average increase and the total annual rainfall ranges from 2% to 237% in La Nina conditions. On the other hand, in El Nino conditions, there is a decrease in the average and total rainfall of up to 37%.

Keywords: ENSO, Precipitation, Seasonal, Annual

1. Pendahuluan

Fenomena El Nino Southern Oscillation (ENSO) memberikan pengaruh terhadap penyimpangan kondisi atmosfer secara global yang terjadi secara non periodik [1]. Penyimpangan kondisi atmosfer salah satunya diakibatkan karena adanya perbedaan tekanan [2] yang terjadi pada permukaan laut di Tahiti dan Darwin [3]. Perbedaan tekanan pada kedua wilayah tersebut dijadikan dasar pembuatan indeks *Southern Oscillation Index* (SOI) [3, 4]. Nilai SOI di bawah -7 mengindikasikan terjadinya El Nino yang biasanya diikuti dengan kenaikan suhu di Pasifik bagian tengah dan timur. Sementara, nilai SOI di atas +7 mengindikasikan terjadinya La Nina yang biasanya juga diikuti dengan meningkatnya suhu di utara Australia dan Indonesia Bagian Timur [4, 5].

Kedua periode ENSO yaitu El Nino dan La Nina berdampak terhadap intensitas curah hujan di Indonesia [1, 2, 6] yang berkaitan dengan bencana hidrometeorologi [7, 8]. Bencana yang terjadi dapat berupa kejadian banjir dan kekeringan pada beberapa wilayah [1, 7, 8]. Seperti banjir bandang yang terjadi di Maluku Utara akibat adanya fenomena La Nina lemah [7]. Selain itu, fenomena El Nino juga mengakibatkan kekeringan di Sulawesi Selatan [8]. Kerugian yang disebabkan dari bencana hidrometeorologi dapat berupa hilangnya harta benda, rusaknya fasilitas umum [7], dan berkurangnya hasil panen bahkan hingga menyebabkan kelaparan [8].

Wilayah Manokwari Selatan yang berada di Provinsi Papua Barat termasuk dalam wilayah yang rawan bencana hidrometeorologi [9]. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Papua Barat

[10], telah terjadi 7 kejadian banjir dari tahun 2015-2018. Daerah yang rawan banjir terdapat pada Kecamatan Oransbari dan Ransiki [9]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh fenomena ENSO di wilayah Manokwari Selatan agar dapat membantu mengurangi permasalahan terkait bencana hidrometeorologi yang sering terjadi.

2. Metode Penelitian

Lokasi dan Data Penelitian

Manokwari Selatan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Papua Barat yang terletak pada 1°5' - 2°5' LS dan 133°45' - 134°25' BT [11]. Kabupaten Manokwari Selatan terbentuk dari hasil pemekaran Kabupaten Manokwari pada tanggal 17 November 2012 yang tercantum dalam UU No 23 Tahun 2012. Luas wilayah Kabupaten Manokwari Selatan mencapai 2.812,44 km² yang terdiri dari 6 distrik yaitu Tahota, Dataran Isim, Nenei, Morni Waren, Ransiki, dan Oransbari [12].

Data penelitian menggunakan data curah hujan, anomali suhu permukaan laut Nino 3.4, serta data Indeks Osilasi Selatan (SOI) dalam skala bulanan pada periode 2015-2020. Data curah hujan observasi diambil dari 4 titik pos pengamatan yang terdapat pada wilayah Manokwari Selatan (**Gambar 1.**) sedangkan data Indeks Nino 3.4 diambil dari situs NOAA

(<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.91-20.ascii>) dan data SOI diambil dari situs BOM (<http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi/>).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dan Letak Pos Curah Hujan (sumber: data diolah)

Klasifikasi dan Identifikasi El Nino Southern Oscillation (ENSO)

Proses pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi dan mengklasifikasikan kejadian El Nino, La Nina, dan Normal dalam skala 3 bulanan maupun tahunan. Klasifikasi secara 3 bulanan didasarkan pada sesi monsun yaitu Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), September-Oktober-November (SON) yang kemudian dicari nilai rata-rata Indeks Nino3.4. Indikasi fenomena El Nino ditunjukkan dengan nilai indeks bernilai lebih dari atau sama dengan +0,5 sedangkan La Nina ditunjukkan dengan nilai indeks bernilai kurang dari atau sama dengan -0,5. Kemudian dalam skala tahunan dapat dilakukan dengan melihat fenomena yang secara kontinu terjadi dalam setahun [1]. Klasifikasi ENSO dalam periode tahunan sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Fenomena ENSO Periode Tahunan

Tahun	Fenomena	Frekuensi Anomali Indeks Nino 3.4	Bulan Terjadinya ENSO
2015	El Nino	12	Jan-Des
2016	La Nina	5	Agus-Des
2017	Normal	-	-
2018	La Nina	4	Jan-April
2019	El Nino	6	Jan-Juni
2020	La Nina	5	Agus-Des
2021	La Nina	10	Jan-Mei dan Agus-Des

Sumber: data diolah

Total Curah Hujan

Data curah hujan bulanan diolah dalam bentuk total curah hujan tiap 3 bulanan. Total curah hujan dihitung dengan cara menjumlahkan nilai curah hujan bulanan pada setiap sesi monsun DJF, MAM, JJA, dan SON. Selain itu, juga diolah ke dalam bentuk tahunan dengan menjumlah total curah hujan selama 1 tahun.

Analisis Hubungan

Analisis korelasi dilihat dalam skala 3 bulanan dan tahunan. Kedua skala waktu tersebut direpresentasikan dalam bentuk analisis *boxplot* dan grafik batang. Analisis *boxplot* dapat digunakan untuk meninjau variabilitas suatu data pada keadaan dan rentang tertentu [13] seperti saat terjadi ENSO. Analisis *boxplot* dapat dilakukan dengan melihat komponen *boxplot* diantaranya yaitu [13]:

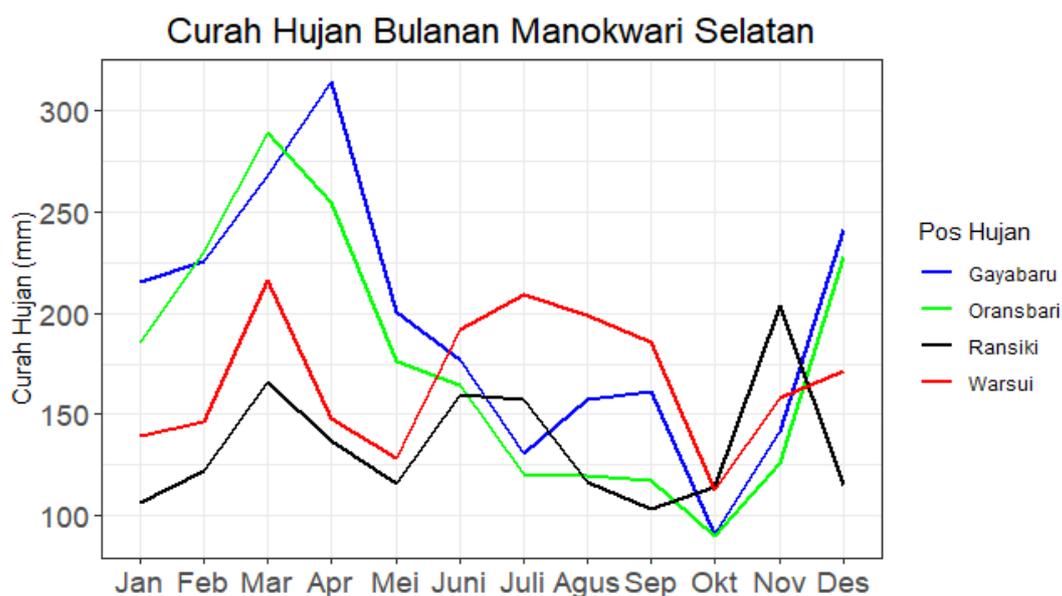
- Nilai observasi minimum
- Kuartil terendah atau Q1 yang memotong 25% dari data terendah
- Median atau Q2 yang disebut nilai tengah
- Kuartil tertinggi atau Q3 yang memotong 25% dari data tertinggi
- Nilai observasi maksimum

Terdapat juga grafik batang yang dapat menunjukkan pola naik turun dari total curah hujan pada periode tertentu.

3. Hasil dan Pembahasan

Curah Hujan Manokwari Selatan

Curah hujan bulanan di Manokwari Selatan memiliki dua pola hujan seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Pola hujan pada stasiun Gayabaru dan Oransbari membentuk pola hujan monsun.



Gambar 2. Curah Hujan Bulanan Manokwari Selatan Periode Tahun 2015 - 2021. (sumber: data diolah)

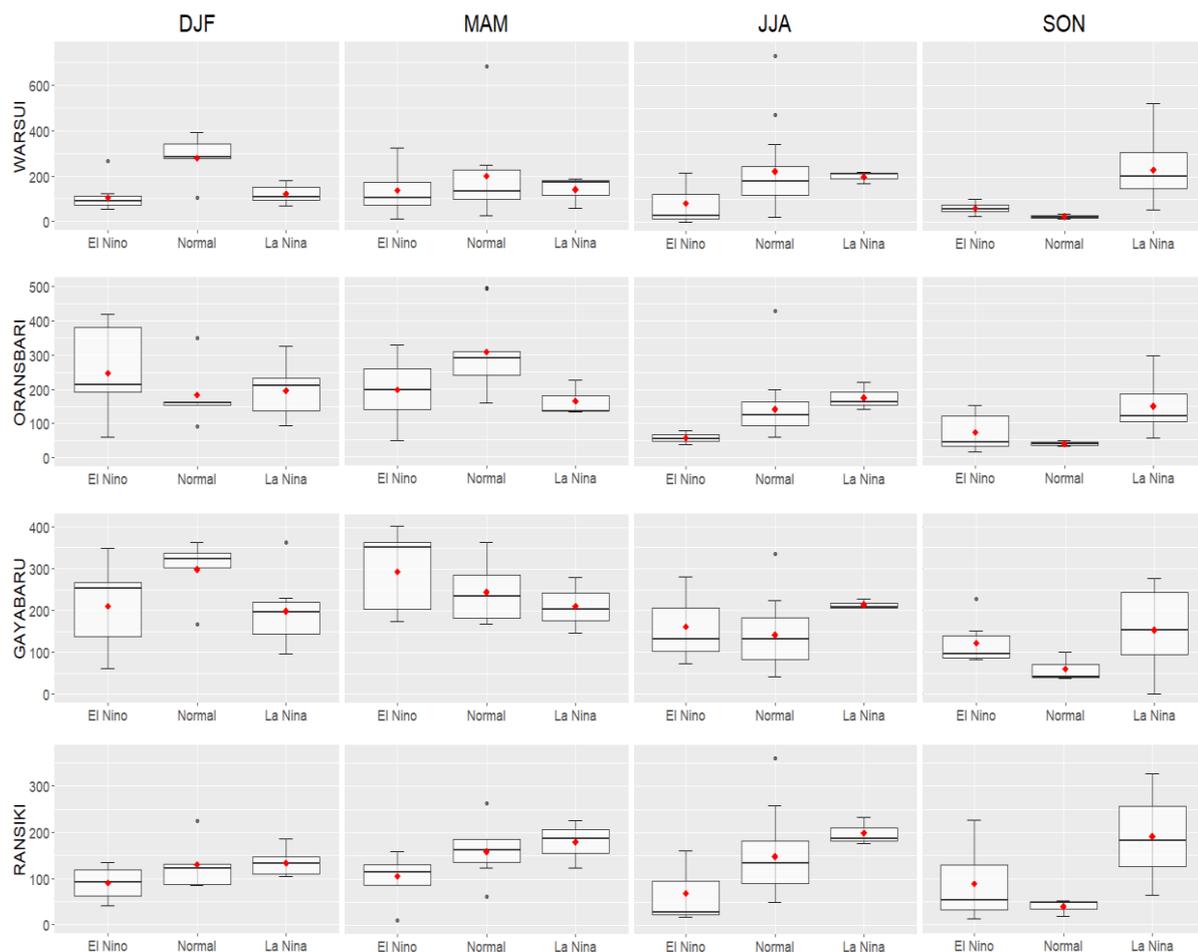
Terlihat distribusi curah hujan kuat ketika terjadi monsun baratan pada periode Desember-Januari-Februari (DJF) sedangkan curah hujan akan melemah ketika terjadi monsun timuran atau berbalik arah pada periode Juni-Juli-Agustus (JJA) [14, 15]. Pola hujan pada 2 stasiun lain yaitu Ransiki dan Warsui membentuk pola yang hampir mirip dengan pola hujan ekuatorial. Pola tersebut dapat terlihat pada distribusi curah hujan yang memiliki dua puncak nilai maksimum [14, 15]. Kedua pola hujan tersebut memiliki karakteristik dan distribusi curah hujan yang berbeda-beda.

Pengaruh Kejadian ENSO terhadap Curah Hujan dalam Periode Musiman

Pengaruh ENSO terhadap curah hujan di Manokwari Selatan direpresentasikan dalam bentuk analisis *boxplot* (**Gambar 3.**) dan total curah hujan (**Gambar 4.**) dengan jangka waktu 3 bulanan. Berdasarkan teori dan beberapa penelitian sebelumnya [1, 2, 16] kondisi La Nina dan El Nino dapat berdampak terhadap variasi curah hujan pada beberapa daerah. Ketika terjadi kondisi La Nina,

curah hujan akan memiliki intensitas lebih tinggi dari kondisi Normal. Sebaliknya, ketika kondisi El Nino intensitas curah hujan akan lebih rendah dari kondisi Normal. Dampak yang sejalan juga terlihat di wilayah Manokwari Selatan pada periode musim tertentu.

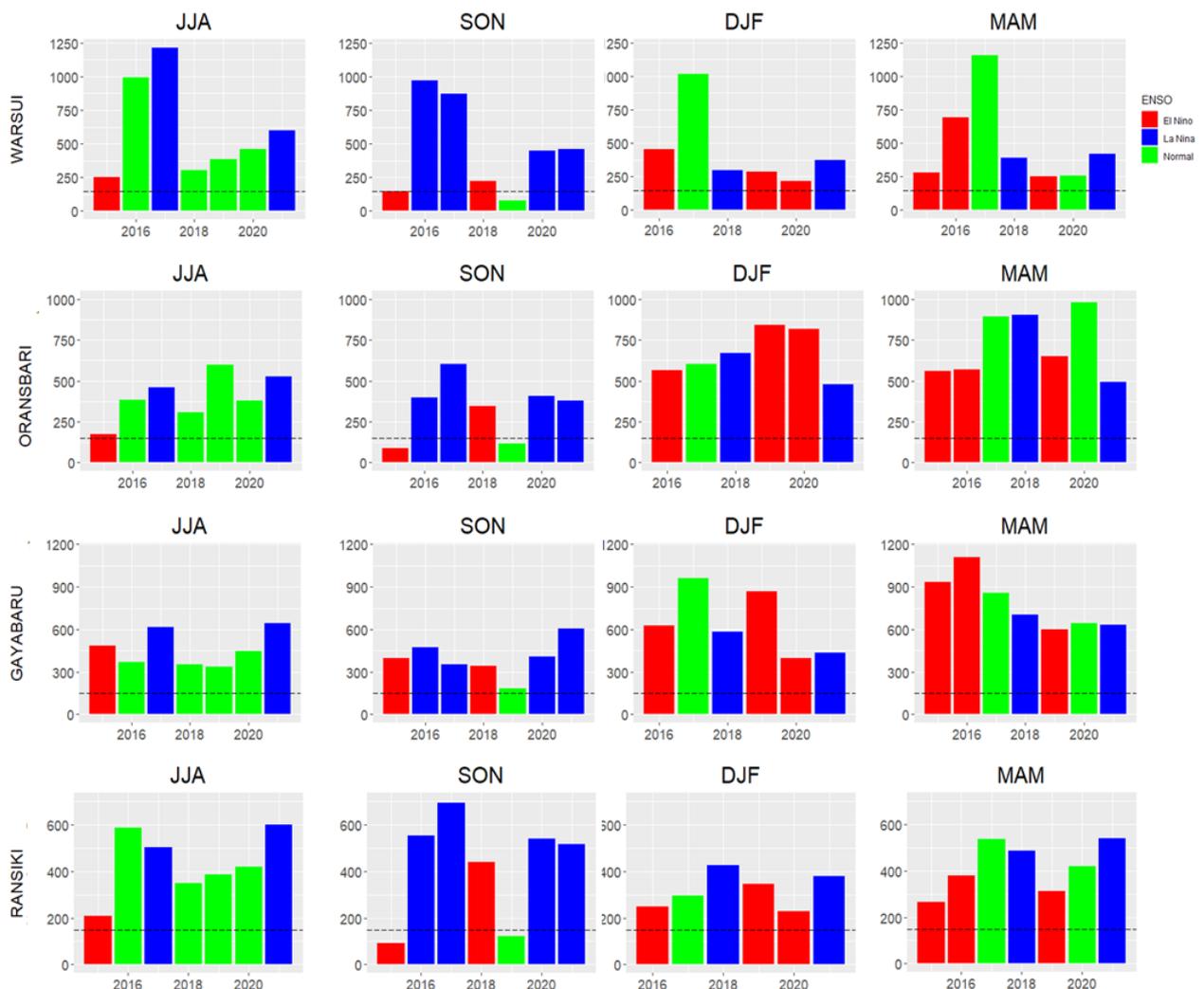
Pengaruh kondisi La Nina yang sejalan dengan teori sebelumnya [1, 2, 16] terlihat di seluruh pos curah hujan di Manokwari Selatan pada periode JJA. Pengaruh tersebut terlihat pada nilai Q1 saat kondisi La Nina di pos curah hujan Warsui, Oransbari, Gayabaru, dan Ransiki berturut-turut sebesar 191 mm; 152,5 mm; 207 mm; dan 182 mm lebih tinggi dibandingkan nilai Q2 pada kondisi Normal yaitu sebesar 182 mm; 124 mm; 132 mm; dan 135 mm (**Gambar 3.**). Total curah hujan pada periode JJA di tahun 2021 (La Nina) juga menunjukkan adanya kenaikan dibandingkan tahun sebelumnya yaitu tahun normal lainnya, kecuali pada wilayah Warsui dan Ransiki tahun 2016 (Normal), serta Oransbari tahun 2019 (Normal). Kenaikan yang terjadi di tahun 2021 mencapai 31% hingga 44% dari total curah hujan periode JJA di tahun 2020. Hal tersebut dapat menunjukkan jika La Nina berpengaruh secara signifikan pada periode JJA (**Gambar 4.**).



Gambar 3. *Boxplot* Rentang Curah Hujan Periode Musiman pada Setiap Pos Curah Hujan dengan Garis Horizontal yang menunjukkan Median sedangkan Titik Merah menunjukkan Nilai Rata-ratanya. (sumber: data diolah)

Kejadian La Nina selama tahun 2015-2021 memiliki frekuensi kejadian lebih banyak pada periode SON jika dibandingkan dengan periode musim yang lain (**Gambar 4**). Oleh karena itu, pengaruh La Nina juga terlihat pada periode SON di seluruh pos curah hujan jika ditinjau dari nilai rata-rata serta kuartilnya. Walaupun pada pos curah hujan Gayabaru ketika kondisi La Nina memiliki nilai minimum di bawah kondisi Normal. Pada **Gambar 3**, terlihat nilai Q3 pada kondisi La Nina jauh berada di atas Q1 pada kondisi Normal. Hal yang sama juga ditunjukkan pada nilai rata-rata dengan perbandingan antara kondisi Normal dengan kondisi La Nina sebesar 1:9 (Warsui), 1:4 (Oransbari), 2:5 (Gayabaru), dan 1:5 (Ransiki). Selain itu, total curah hujan pada kondisi La Nina di seluruh pos curah hujan juga lebih tinggi intensitasnya dibandingkan ketika kondisi Normal (**Gambar 4**). Hal tersebut terlihat pada periode SON dengan kondisi La Nina di tahun 2016, 2020, dan 2021 memiliki intensitas curah hujan SON lebih tinggi dibandingkan kondisi Normal.

Pada periode JJA selain kondisi La Nina terlihat juga pengaruh dari kondisi El Nino terhadap intensitas curah hujan di Manokwari Selatan. Pengaruh kondisi El Nino terjadi pada seluruh pos curah hujan, kecuali Gayabaru. Pengaruhnya terlihat pada nilai minimum ketika kondisi El Nino di bawah kondisi Normal serta nilai Q3 kondisi El Nino juga di bawah nilai Q2 kondisi Normal (**Gambar 3**). Secara rinci nilai minimum ketika kondisi El Nino sebesar 0 mm untuk Warsui, 39 mm untuk Oransbari, dan 18 mm untuk Ransiki sedangkan ketika kondisi Normal berturut-turut sebesar 22 mm, 60 mm, dan 51 mm. Total curah hujan juga mengalami penurunan seperti yang terlihat pada tahun 2015 ketika El Nino dan tahun 2016 ketika Normal. Jika dibandingkan dengan kondisi Normal di tahun 2016, kejadian El Nino dapat menurunkan total curah hujan tahunan sebesar 75% (Warsui), 54% (Oransbari), dan 64% (Ransiki). Persentase penurunan yang dihasilkan cukup besar karena ketika periode JJA di tahun 2015 termasuk dalam El Nino dengan intensitas kuat [17-20].



Gambar 4. Diagram Batang Total Curah Hujan Periode Musiman pada Setiap Pos Curah Hujan. (sumber: data diolah)

Hasil yang ditunjukkan pada periode DJF dan MAM tidak terlihat adanya pengaruh ENSO pada pos curah hujan Warsui, Oransbari, dan Gayabaru yang sejalan dengan teori. Hal ini ditunjukkan oleh nilai rata-rata curah hujan pada kondisi Normal yang memiliki nilai di atas kondisi La Nina. Seperti yang terjadi pada pos curah hujan Warsui dan Gayabaru di periode DJF serta pos curah hujan Warsui dan Oransbari di periode MAM. Selain itu, pada periode MAM terlihat jika rentang nilai curah hujan pada kondisi El Nino lebih tinggi dibandingkan ketika kondisi Normal maupun La Nina. Ketika kondisi El Nino curah hujan pada Warsui berkisar 14 mm - 324 mm, pada Oransbari berkisar 48 mm - 328 mm, dan pada Gayabaru berkisar 175 mm - 404 mm. Sedangkan ketika kondisi La Nina hanya berkisar 60 mm - 188 mm untuk Warsui, 133 mm - 225 mm untuk Oransbari, dan 148 mm - 208 mm untuk Gayabaru. Terlihat juga pada total curah hujan tahunan di periode DJF dan MAM yang tidak merepresentasikan pengaruh ENSO. Hal ini disebabkan karena ketika kondisi La Nina, umumnya tekanan di wilayah Amerika Selatan lebih tinggi dari benua maritim, sehingga mengakibatkan adanya gangguan monsun asia dan berdampak terhadap berkurangnya curah hujan pada periode DJF, sedangkan saat kondisi El Nino terjadi pelemahan sirkulasi walker sehingga memperkuat monsun asia dan berdampak terhadap tingginya curah hujan di periode DJF pada wilayah Manokwari selatan [16,22].

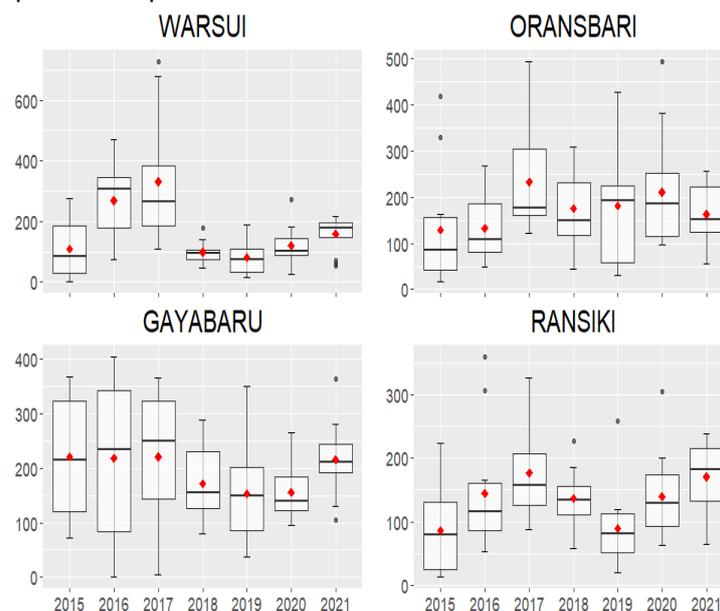
Pada seluruh periode musim terdapat pos curah hujan Ransiki yang terdampak oleh fenomena ENSO. Seperti yang terlihat pada setiap periode, pos curah hujan Ransiki selalu mengalami peningkatan intensitas curah hujan pada kondisi La Nina dan mengalami penurunan pada kondisi El

Nino (**Gambar 3**). Hal yang sama juga terlihat pada total curah hujan yang tinggi di kondisi La Nina dan rendah di kondisi El Nino (**Gambar 4**). Walaupun terdapat beberapa tahun pada periode DJF dan SON yang kondisi El Nino memiliki curah hujan lebih tinggi daripada kondisi Normal. Namun pengaruh ENSO sesuai teori lebih sering terjadi pada pos curah hujan Ransiki.

Pengaruh Kejadian ENSO terhadap Curah Hujan dalam Periode Tahunan

Pengaruh ENSO terhadap variasi curah hujan juga ditinjau dalam jangka waktu tahunan. Hal ini dilakukan karena ENSO juga berpengaruh terhadap variasi hujan tahunan [21]. Pengaruh ENSO dalam variasi hujan tahunan direpresentasikan dalam **Gambar 5**. dan **Gambar 6**. Pada **Gambar 5**. menunjukkan rentang variasi hujan tahunan sedangkan **Gambar 6**. menunjukkan total curah hujan tahunan selama periode 2015-2021. Kejadian tahun-tahun ENSO pada rentang penelitian secara rinci dapat dilihat pada **Tabel 1**.

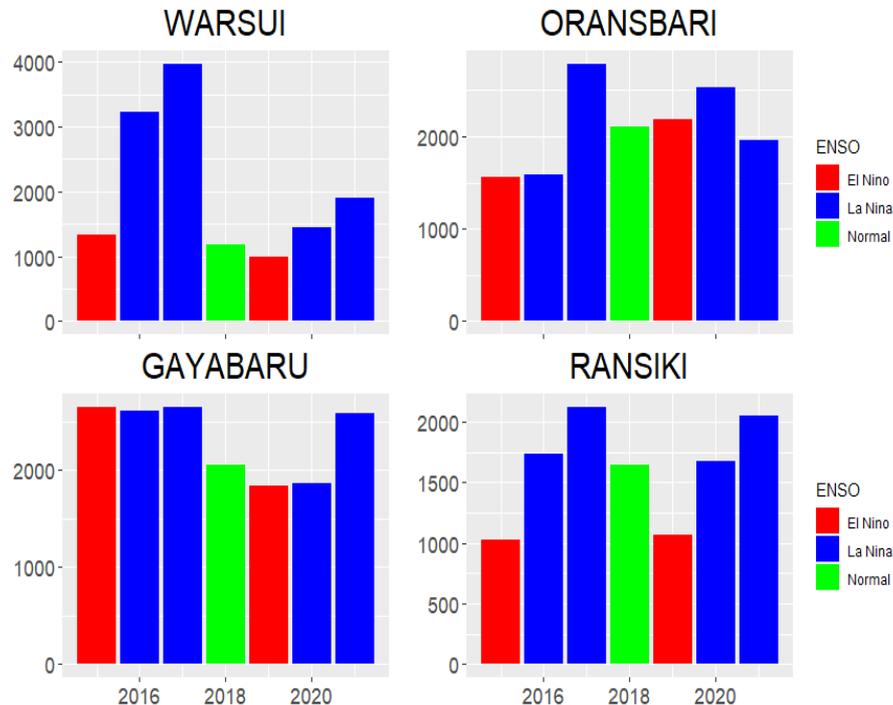
Variasi curah hujan tahunan pada pos curah hujan Warsui dan Ransiki terlihat dipengaruhi oleh adanya kondisi El Nino pada tahun 2015 dan 2019. Pada kedua tahun tersebut nilai curah hujan minimum berada di bawah kondisi Normal. Selain itu, pada pos curah hujan Ransiki rata-rata curah hujan tahunan dan total curah hujan tahunan mengalami penurunan pada tahun 2015 dan 2019. Rata-rata dan total curah hujan tahunan pada tahun 2015 mengalami penurunan sebesar 37% dan pada tahun 2019 sebesar 35%. Sementara, pada pos curah hujan Warsui penurunan rata-rata dan total curah hujan tahunan hanya terjadi di tahun 2019. Penurunan rata-rata dan total curah hujan tahunannya mencapai 16



Gambar 5. Boxplot Rentang Curah Hujan Periode Tahunan pada Setiap Pos Curah Hujan dengan Garis Horizontal yang menunjukkan Median sedangkan Titik Merah menunjukkan Nilai Rata-ratanya. (sumber: data diolah)

Pada pos curah hujan Warsui dan Ransiki, variasi curah hujan tahunan juga dipengaruhi oleh kondisi La Nina. Kondisi La Nina yang terjadi pada tahun 2016, 2017, 2020, dan 2021 terlihat memiliki rentang nilai curah hujan serta total curah hujan lebih tinggi jika dibandingkan dengan tahun 2018. Perbedaan rentang curah hujan ditunjukkan dengan nilai Q3 pada kondisi La Nina memiliki nilai lebih besar dengan nilai

Q3 pada kondisi Normal (**Gambar 5**). Pada pos curah hujan Warsui selisih nilai antara Q3 pada kondisi La Nina dan Normal berkisar antara 38,5 mm – 279,8 mm sedangkan pada pos curah hujan Ransiki berkisar antara 4,5 mm – 59,3 mm. Selain itu, total curah hujan pada kondisi La Nina mengalami kenaikan sebesar 23% - 238% untuk Warsui dan 2% - 29% untuk Ransiki (**Gambar 6**).



Gambar 6. Diagram Batang Total Curah Hujan Periode Tahunan pada Setiap Pos Curah Hujan. (sumber: data diolah)

Dampak pengaruh ENSO terhadap variasi curah hujan tahunan di pos curah hujan Manokwari Selatan hanya terlihat jelas pada pos curah hujan Warsui dan Ransiki. Pada pos curah hujan lain yaitu Oransbari dan Gayabaru tidak terlihat jelas adanya pengaruh ENSO sesuai teori. Jika ditinjau dari tipe pola curah hujannya, sensitivitas terhadap pengaruh ENSO lebih kuat terjadi pada tipe pola curah hujan ekuatorial dibandingkan dengan tipe pola curah hujan musonal. Namun, hal ini berlawanan terhadap penelitian yang telah dilakukan oleh Rouw, dkk (2014) yang menyatakan jika sensitivitas paling lemah terjadi pada tipe pola curah hujan ekuatorial.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak ENSO pada Curah Hujan di wilayah Manokwari Selatan. Hasil studi menunjukkan secara umum ENSO berpengaruh pada wilayah dengan tipe hujan ekuatorial yang terdiri dari Warsui dan Ransiki. Pada wilayah terdampak, pengaruh ENSO sangat mencolok pada bulan-

bulan JJA dan SON. Adapun, wilayah lain seperti Oransbari dan Gayabaru hanya terdampak pada bulan-bulan JJA. Sehingga dapat disimpulkan jika pengaruh ENSO di Manokwari Selatan berkaitan erat dengan tipe pola hujan pada wilayah tersebut. Namun, dikarenakan pada penelitian ini terdapat perbedaan dari penelitian sebelumnya dan panjang periode data yang hanya 5 tahun. Maka diperlukan kajian lebih lanjut mengenai dampak ENSO terhadap curah hujan di wilayah Manokwari Selatan. Selanjutnya, juga diperlukan kajian mengenai verifikasi data reanalisis dan observasi sehingga didapatkan Panjang data lampau yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini terutama kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) khususnya UPT Stasiun Klimatologi Manokwari Selatan.

Daftar Pustaka

- [1]. Hidayat, A.M., et al. (2018). Korelasi Indeks Nino 3.4 dan Southern Oscillation Index (SOI) dengan Variasi Curah Hujan di Semarang. *Jurnal Sains Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), 75-81.
- [2]. Dewi, S.M. and M. Marzuki. (2020). Analisis Pengaruh Pergeseran Lokasi ENSO terhadap Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2), 176-182.
- [3]. Fitria, W. and M.S. Pratama. (2013). Pengaruh Fenomena El Nino 1997 dan La Nina 1999 terhadap Curah Hujan di Biak. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 14(2).
- [4]. Deffimpmind. (2016). Southern Oscillation Index (SOI). Retrieved from <https://deffimpmind.wordpress.com/southern-oscillation-index-soi/>
- [5]. BOM. (2022). Southern Oscillation Index. Retrieved from <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>
- [6]. Mulyana, E. (2002). Hubungan antara ENSO dengan variasi curah hujan di Indonesia. *Jurnal Sains Teknologi Modifikasi Cuaca*, 3(1), 1-4.
- [7]. Sabrina, V., M.A. Azka, and P.A. Sugianto. (2021). Kajian Meteorologis saat Kejadian Bencana Hidrometeorologis di Maluku Utara:(Studi Kasus: 15-16 Januari 2021). *Jurnal Widya Climago*, 3(2).
- [8]. Sugiarto, Y. and D. Kurniawan. (2009). Analisis Dampak ENSO (El-Nino Southern Oscillation) Terhadap Tingkat Kekeringan Untuk Tanaman Pangan dan Palawija (Studi Kasus: Sulawesi Selatan). *J Agromet*, 23(2), 182-198.
- [9]. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Manokwari Selatan. (2016). *RPJMD Kabupaten Manokwari Selatan Tahun 2016-2021*.
- [10]. Badan Pusat Statistik Provinsi Papua Barat. (2018). Banyaknya Desa Kelurahan menurut Jenis Bencana Alam dalam Tiga Tahun Terakhir 2018. Retrieved from <https://papuabaratsbps.go.id/statictable/2019/01/17/203/banyaknya-desa-kelurahan-menurut-jenis-bencana-alam-dalam-tiga-tahun-terakhir-2018.html>
- [11]. Badan Pusat Statistik Papua Barat. (2021). *Provinsi Papua Barat dalam Angka 2021: BPS Provinsi Papua Barat*.
- [12]. Badan Pusat Statistik Kabupaten Manokwari. (2021). *Kabupaten Manokwari Selatan dalam Angka 2021: BPS Kabupaten Manokwari*.
- [13]. Darsyah, M.Y. (2014). Penggunaan Stem and Leaf dan Boxplot untuk Analisis Data. *Jurnal Karya Pendidikan Matematika*, 1(1).
- [14]. Aldrian, E. (2001). Pembagian Iklim Indonesia Berdasarkan Pola Curah Hujan Dengan Metoda "Double Correlation". *Jurnal Sains Teknologi Modifikasi Cuaca*, 2(1), 11-18.
- [15]. Rouw, A., et al. (2014). Analisis Variasi Geografis Pola Hujan di Wilayah Papua. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 38(1), 25-34.
- [16]. Hartmann, D.L. (2015). *Global Physical Climatology* (Vol. 103): Newnes.
- [17]. GG Weather. (2021). El Niño and La Niña Years and Intensities. Retrieved from <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- [18]. Yananto, A. and R.M. Sibarani. (2016). Analisis Kejadian El Nino dan Pengaruhnya terhadap Intensitas Curah Hujan di Wilayah JABODETABEK (Studi Kasus: Periode Puncak Musim Hujan Tahun 2015/2016). *Jurnal Sains Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2), 65-73.
- [19]. Yananto, A. and S.J.J.S. Dewi. (2016). Analisis Kejadian El Nino Tahun 2015 dan Pengaruhnya terhadap Peningkatan Titik Api di Wilayah Sumatera dan Kalimantan. *Jurnal Sains Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(1), 11-19.
- [20]. Athoillah, I., R.M. Sibarani, and D.E. Doloksaribu. (2017). Analisis Spasial El Niño Kuat Tahun 2015 dan La Nina Lemah Tahun 2016 (Pengaruhnya Terhadap Kelembapan, Angin dan Curah Hujan di Indonesia). *Jurnal Sains Teknologi Modifikasi Cuaca*, 18(1), 33-41.
- [21]. Sinon, I.L. *Identifikasi Pengaruh El Nino dan La Nina Terhadap Variasi Curah Hujan Tahunan Di Kabupaten Biak Numfor Provinsi Papua*. in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA "MOTOGPE"*. 2018.
- [22]. Supari, S., Muharsyah, R., & Wahyuni, N. (2016). Impact of the 2015 Godzilla El Niño event on the Indonesian rainfall. *Scientific Journal of PPI-UKM*, 3(1), 26-31.

ANALISIS MUSIM SIKLON TROPIS 2021/2022 DI SAMUDRA HINDIA SELATAN INDONESIA

TROPICAL CYCLONE SEASON 2021/2022 ANALYSIS IN THE INDIAN OCEAN SOUTHERN INDONESIA

Kiki^{1*}, Fakhru Alam², Rudy Hendriadi³

¹Jl. Angkasa 1 No 2, Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10610

*E-mail: kiki@bmet.go.id, kiki.ekasiwi@gmail.com

Naskah masuk:12 Oktober 2022 Naskah diperbaiki:14 Desember 2022 Naskah diterima:12Maret 2023

ABSTRAK

Musim siklon tropis di Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia setiap tahunnya berlangsung pada periode bulan November hingga April. Musim siklon tahun 2021/2022 telah diprediksi akan mengalami bersifat diatas normalnya, dengan jumlah siklon tropis yang diprediksi akan tumbuh sebanyak 15 sistem. Sementara jika melihat dari rata-rata klimatologisnya maka akan ada 10 siklon tropis yang akan tumbuh dalam tiap musim siklon tropis. Namun sepanjang periode November 2021 hingga April 2022 hanya terdapat 8 siklon tropis yang lahir di basin ini, dengan 1 diantaranya lahir di dalam wilayah tanggung jawab TCWC Jakarta. Dengan pendekatan metode statistik dan analisis deskriptif terhadap data klimatologis siklon tropis, prediksi *outlook* musim siklon tropis tahun 2021/2022, serta data siklogensis dari TCWC Jakarta, dapat disimpulkan bahwa musim siklon tropis tahun 2021/2022 ini cenderung bersifat Bawah Normal sebesar 65% hingga 80%.

Kata kunci: Musim, Siklon Tropis, Samudra Hindia

ABSTRACT

The tropical cyclone season in the Indian Ocean south of Indonesia every year takes place from November to April. The cyclone season in 2021/2022 was predicted to experience an above normal, with the number of tropical cyclones predicted to grow as many as 15 systems. Meanwhile, based on the climatological average, there will be 10 tropical cyclones that will develop in each tropical cyclone season. However, during the period from November 2021 to April 2022, only 8 tropical cyclones were developed in this basin, with 1 of them born within the area of responsibility of TCWC Jakarta. With a statistical method approach and descriptive analysis of tropical cyclone climatological data, predictions of the outlook for the tropical cyclone season in 2021/2022, and cyclogenesis data from TCWC Jakarta, it can be concluded that the tropical cyclone season in 2021/2022 tends to be below normal by 65% to 80 %.

Keywords: Season, Tropical Cyclone, Indian Ocean

1. Pendahuluan

Musim siklon tropis tahun 2021/2022 di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia, yang umumnya berlangsung antara bulan November hingga April, diprediksi akan memiliki jumlah siklon tropis yang sedikit lebih banyak diatas nilai normalnya, dikarenakan aktifnya fenomena La Nina [1] intensitas lemah. Sebanyak 15 siklon tropis diprediksi akan lahir di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia berdasarkan outlook siklon tropis yang dirilis oleh TCWC Perth, BoM Australia pada Oktober 2021 lalu. Probabilitas kenaikan jumlah siklon tropis pada musim siklon kali ini diprediksi akan berkisar antara 57% - 62%. Basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia dikelompokkan menjadi 3 (tiga) wilayah perairan, yakni Samudra Hindia barat daya Sumatra, Samudra Hindia selatan Jawa hingga Nusa Tenggara, dan Samudra Hindia selatan Maluku hingga Papua. Pengelompokkan ketiga wilayah perairan ini dilakukan untuk memudahkan perbandingan dan analisis sistem gangguan tropis yang tumbuh di basin Samudra Hindia bagian selatan.

Beberapa kajian terkait pengaruh ENSO atau lebih spesifiknya La Nina terhadap frekuensi siklon tropis yang tumbuh telah dilakukan diantaranya di basin Teluk Benggala, yang menemukan bahwa dari komposit angin zonal 10 m menunjukkan varian yang lebih besar selama peristiwa La Nina, hal ini mendukung pengembangan vortisitas siklonik di paras bawah. *Shear* vertikal lemah di Teluk Benggala bagian tengah dan utara juga membantu perkembangan siklon tropis selama periode La Nina. Peningkatan kelembaban relatif yang merupakan hasil dari peningkatan transfer kelembaban dan air mampu curah lebih tinggi dalam kondisi La Nina [2]. Kajian serupa yang dilakukan di wilayah perairan sekitar Filipina menyimpulkan bahwa siklon tropis yang tumbuh saat periode La Nina terutama pada bulan April hingga Juni dan Oktober hingga Desember mengalami peningkatan frekuensi dan jumlah siklon tropis yang memasuki atau melintasi wilayah daratan Filipina (*landfall*) [3].

Sepanjang musim siklon tropis tahun 2021/2022, nyatanya hanya ada sebanyak 8 siklon tropis yang tumbuh di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia, dengan 1 diantaranya lahir di dalam wilayah tanggung jawab (AoR) TCWC Jakarta, yakni siklon tropis Teratai yang lahir pada 1 Desember 2021 pukul 12.00 UTC di Samudra Hindia sebelah barat daya Banten, sekitar 9.5 LS 101.9 BT, dengan kecepatan angin maksimum 40 knot dan

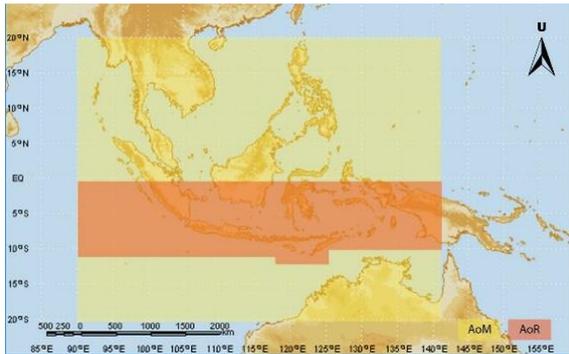
tekanan udara minimum 1000 hPa. Siklon tropis Teratai hanya memiliki masa hidup selama kurang lebih 6 jam dalam intensitas sebagai siklon tropis, sebelum akhirnya melemah seiring dengan propagasinya ke arah Selatan – Barat Daya menjauhi wilayah Indonesia. Siklon tropis Teratai diprediksi akan menimbulkan dampak hujan lebat, angin kencang, serta gelombang tinggi di sekitar wilayah Provinsi Bengkulu, Lampung, Banten, dan Jawa Barat [4].

Di basin Samudra Atlantik, jumlah siklon tropis yang tumbuh sepanjang musim siklon tropis tahun 2021/2022 juga menunjukkan penurunan frekuensi. Secara klimatologis normalnya akan ada 30 siklon tropis yang lahir di basin ini pada setiap musim siklon tropis tiap tahunnya. Sementara berdasarkan *outlook* musim siklon tropis 2021/2022, jumlah siklon tropis yang diperkirakan akan tumbuh adalah sebanyak 26 sistem. Namun pada musim siklon tropis 2021/2022, per tanggal 19 September 2022, jumlah siklon tropis yang telah tumbuh di basin ini hanya sebanyak 9 siklon tropis, sehingga nampak adanya penurunan frekuensi dibanding kondisi normalnya [5].

Kajian ini menganalisis musim siklon tropis tahun 2021/2022 di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia jika dibandingkan dengan kondisi rata-rata klimatologisnya maupun outlooknya.

Siklon Tropis. Siklon tropis merupakan badai dengan kekuatan yang besar. Radius rata-rata siklon tropis mencapai 150 hingga 200 km. Siklon tropis terbentuk di atas lautan luas yang umumnya mempunyai suhu permukaan air laut hangat, lebih dari 26.5 °C. Angin kencang yang berputar di dekat pusatnya mempunyai kecepatan angin lebih dari 63 km/jam [6].

TCWC Jakarta. TCWC (*Tropical Cyclone Warning Center*) Jakarta merupakan bagian dari Pusat Meteorologi Publik, BMKG Jakarta, yang memiliki tupoksi untuk melakukan monitoring serta prakiraan untuk sistem gangguan tropis (depresi tropis, badai tropis, siklon tropis) yang tumbuh di wilayah perairan sekitar Indonesia. Wilayah ini terbagi menjadi 2, yaitu AoR (*Area of Responsibility* - kotak warna merah) serta AoM (*Area of Monitoring* – kotak warna kuning).



Gambar 1. Wilayah AoR (kotak merah) dan AoM (kotak kuning) TCWC Jakarta (Sumber:TCWC Jakarta)

Pada saat terdapat siklon tropis yang tumbuh di dalam wilayah AoR maka kewajiban TCWC Jakarta untuk memberi nama serta membuat prediksi intensitas serta lintasan untuk siklon tropis tersebut, sejak intensitas bibit hingga purnah. Sedangkan untuk siklon tropis yang tumbuh di dalam AoM tugas TCWC Jakarta hanya *monitoring*.

TCWC berdiri sejak tahun 2010, dan hingga tahun 2022 telah memberi nama untuk 11 siklon tropis yang lahir di dalam wilayah AoR TCWC Jakarta, yaitu Siklon Tropis Durga, Anggrek, Bakung, Cempaka, Dahlia, Flamboyan, Kenanga, Lili, Mangga, Seroja dan Teratai.

Musim Siklon di Samudera Hindia Selatan Indonesia. Musim siklon tropis di Samudra Hindia selatan Indonesia berlangsung antara bulan November hingga April setiap tahunnya. Dalam 1 musim siklon tropis secara rata-rata akan tumbuh 10 siklon tropis di basin ini. Namun jumlah ini bisa bervariasi bergantung pada kondisi atmosfer secara global maupun regional. Sebagai contoh di musim siklon tropis tahun 2015/2016 yang merupakan tahun El Nino kuat, jumlah siklon tropis yang tumbuh hanya sebanyak 2 siklon tropis, atau hanya 25% dari jumlah normalnya.

Data frekuensi siklon tropis untuk kedua wilayah AoR maupun AoM didokumentasikan oleh TCWC Jakarta sejak periode tahun 1977 untuk AoM bagian utara Indonesia, serta sejak tahun 1980 untuk AoM dan AoR di Samudra Hindia sebelah selatan Indonesia. Jumlah keseluruhan serta rata-rata siklon tropis di wilayah perairan selatan Indonesia ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Klimatologis jumlah siklon tropis di Samudra Hindia selatan Indonesia periode tahun 1980 – 2022 (Sumber : TCWC Jakarta)

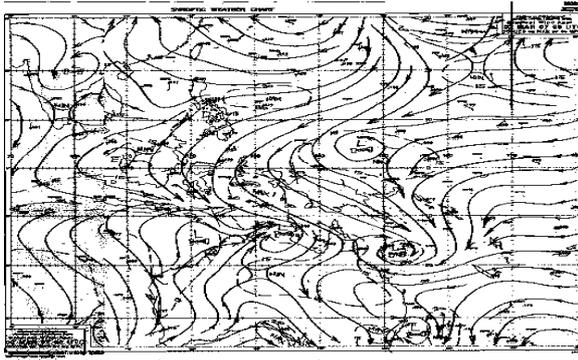
Bulan	Jumlah TC	Rata-Rata
Januari	93	2.16
Februari	91	2.12
Maret	76	1.77
April	60	1.40
Mei	13	0.30
Juni	0	0.00
Juli	3	0.07
Agustus	1	0.02
September	1	0.02
Oktober	6	0.14
November	30	0.70
Desember	72	1.67
Jumlah	446	10.37

Berdasarkan tabel 1 diatas, terlihat bahwa pada musim siklon tropis di BBS, yaitu antara bulan November – April, rata-rata siklon tropis yang tumbuh di wilayah AoR dan AoM TCWC Jakarta adalah sebanyak 10 sistem.

Dampak Siklon Tropis. Dampak siklon tropis terhadap kondisi cuaca di wilayah Indonesia terbagi menjadi 2 jenis yaitu dampak langsung dan dampak tidak langsung.

Dampak langsung adalah dampak yang ditimbulkan siklon tropis terhadap wilayah yang dilaluinya, diantaranya hujan intensitas minimum lebat (≥ 50 mm/hari), angin dengan kecepatan diatas 25 knot atau 48 km/jam, serta gelombang tinggi diatas 2 meter. Contoh dari dampak langsung adalah dampak siklon tropis Seroja terhadap wilayah Pulau Rote, NTT, saat melintasi wilayah daratan wilayah ini pada tanggal 3 April 2021 dan menyebabkan curah hujan ekstrem yaitu sebesar 205 mm/hari.

Sementara dampak tidak langsung merupakan perubahan pola cuaca disuatu tempat akibat adanya siklon tropis. Sebagai contoh untuk wilayah Indonesia adalah ketika ada siklon tropis yang tumbuh di Samudra Pasifik timur Filipina, Samudra Hindia barat Australia, dsb. Dampak tidak langsung ini bisa berupa terbentuknya daerah pempunan angin, daerah belokan angin, ataupun daerah defisit kelembapan [6]. Contoh dari dampak tidak langsung ini adalah saat siklon tropis George yang tumbuh di perairan barat Australia pada tahun 2007, yang membentuk daerah konvergensi di sepanjang wilayah Jawa Timur hingga NTT, dan mengakibatkan hujan intensitas lebat hingga ekstrem di wilayah ini. Di Stasiun Meteorologi Ruteng, NTT, tercatat curah hujan harian sebesar 172 mm. Lintasan



Gambar 2. Analisis medan angin permukaan periode siklon tropis George, 2 Maret 2007 (Sumber: BoM Australia)

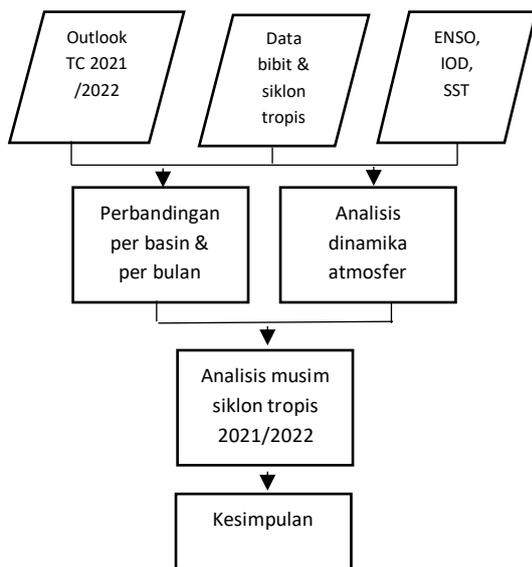
Dampak siklon tropis secara lengkap disajikan dalam Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Diagram dampak siklon tropis terhadap cuaca (Sumber: TCWC Jakarta)

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data siklogensis siklon tropis yang tumbuh selama periode musim siklon tropis 2021/2022 di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia dari TCWC Jakarta. Sementara metode yang digunakan adalah metode statistik serta metode analisis deskriptif, selengkapnya ditampilkan dalam Gambar 4 berikut ini.

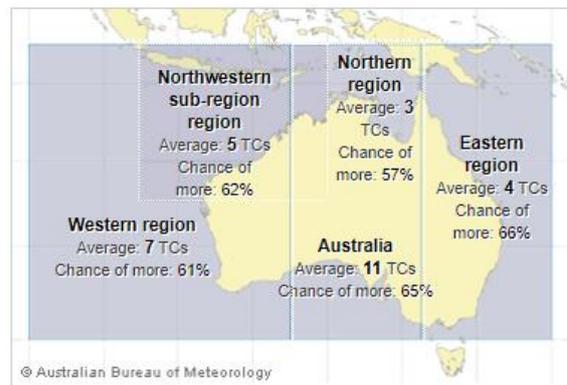


Gambar 4. Diagram flowchart

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Dinamika Atmosfer di Musim Siklon Tropis 2021/2022. Musim siklon tropis tahun 2021/2022 bertepatan dengan fenomena La Nina weak- moderate, yang terdeteksi aktif sejak Juli 2021 hingga akhir musim siklon tropis yakni April 2022. Selain La Nina, fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) juga terdeteksi aktif di fase negatifnya. Aktivitas monsun Asia-Australia terdeteksi bersifat normal dan sesuai dengan klimatologisnya. Kondisi suhu muka laut di wilayah perairan pada periode bulan November 2021 – April 2022 berkisar antara 26 – 32°C, dengan rentang anomali antara -3 – (+4)°C [7].

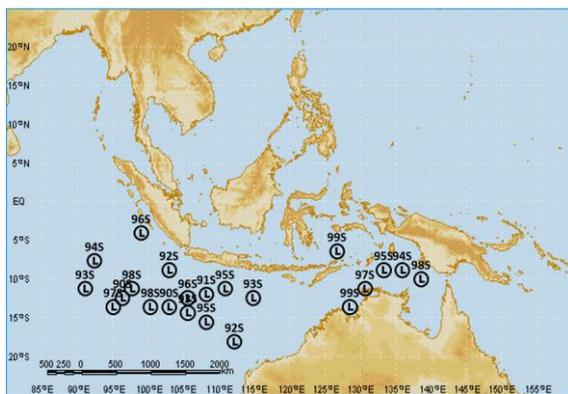
Outlook musim siklon tropis tahun 2021 / 2022 basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia. TCWC Perth-Australia mengeluarkan outlook musim siklon tropis tahun 2021/2022 untuk basin Samudra Hindia bagian selatan, serta Samudra Pasifik selatan bagian timur Australia. Dalam *outlook* ini TCWC Perth memprediksi bahwa akan ada sedikit peningkatan jumlah siklon tropis yang akan tumbuh di sekitar wilayah Australia dibandingkan normalnya, sebagaimana ditampilkan dalam gambar 5 berikut.



Gambar 5. Outlook musim siklon tropis tahun 2021/2022. Prosentase menggambarkan peluang peningkatan jumlah siklon tropis dari normalnya. (Sumber: TCWC Perth - BoM)

Pada Gambar 5 diatas terlihat untuk basin Samudra Hindia barat Sumatra diprediksi akan ada sebanyak 7 siklon tropis sepanjang musim siklon tropis 2021/2022. Samudra Hindia selatan Jawa hingga Nusa Tenggara sebanyak 5 siklon tropis, sementara Samudra Hindia selatan Maluku dan Papua diprediksi sebanyak 3 siklon tropis. Peluang peningkatan jumlah siklon tropis di ketiga wilayah perairan ini berkisar antara 57% hingga 62%. Dikatakan pula bahwa potensi pertumbuhan tropical low umumnya akan lebih banyak dibandingkan tahun non La Nina [1].

Bibit Siklon Tropis Periode Musim Siklon Tropis Tahun 2021/2022. Gambar 6 berikut ini menyajikan sebaran bibit siklon tropis yang tumbuh di dalam wilayah AoR dan AoM TCWC Jakarta selama periode musim siklon tropis tahun 2021/2022 di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia. Total bibit siklon tropis yang tumbuh sepanjang periode November 2021 hingga April 2022 di basin ini ada sebanyak 22 bibit, dengan 9 diantaranya tumbuh di Samudra Hindia barat daya Sumatera, 7 sistem tumbuh di Samudra Hindia selatan Jawa hingga Nusa Tenggara, dan 6 sistem lainnya di perairan selatan Maluku hingga Samudra Hindia timur Pulau Timor dan perairan selatan Papua [8].



Gambar 6. Peta sebaran bibit siklon tropis musim siklon tropis tahun 2021/2022 di Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia (Sumber : TCWC Jakarta)

Sementara distribusi perbulannya disajikan dalam tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Rekapitulasi jumlah bibit siklon tropis di Samudra Hindia selatan Indonesia periode November 2021 – Mei 2022

Periode Bulan	Bibit Siklon Tropis
November 2021	1
Desember 2021	6
Januari 2022	1
Februari 2022	7
Maret 2022	4
April 2022	3
Mei 2022	1

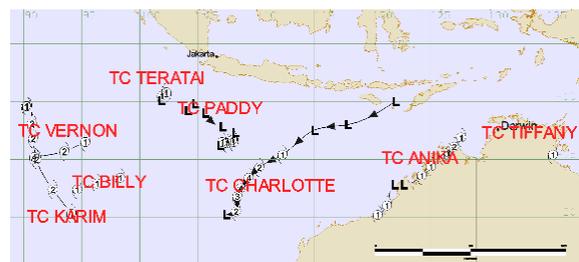
Berdasarkan tabel 2 diatas periode bulan dengan jumlah pertumbuhan bibit siklon tropis terbanyak di Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia terjadi di periode bulan Desember 2021 dan Februari 2022, dengan masing-masing berjumlah 6 dan 7 sistem. Dari total 23 bibit siklon tropis yang tumbuh di Samudra

Hindia selatan wilayah Indonesia ini hanya sebanyak 10 sistem yang berhasil mencapai intensitas siklon tropis, dengan 1 sistem lahir di AoR, 7 sistem lahir di AoM, dan 2 sistem di luar AoM TCWC Jakarta. Dan ada 1 sistem yang tumbuh di periode bulan Mei 2022 yang seharusnya sudah bukan musim siklon tropis di basin ini.

Beberapa faktor yang tercatat sebagai penghambat sejumlah bibit siklon tropis ini tumbuh menjadi siklon tropis umumnya adalah *shear* vertikal kuat, yang menghambat pertumbuhan sirkulasi bibit di semua lapisan atmosfer, dari lapisan bawah hingga atas [9].

Siklon Tropis Periode Musim Siklon Tropis Tahun 2021/2022. Sepanjang musim siklon tropis tahun 2021/2022 terdapat 8 siklon tropis yang tumbuh di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia. Dengan sebanyak 7 sistem lahir di dalam wilayah AoM TCWC Jakarta, dan 1 sistem tumbuh di dalam AoR TCWC Jakarta, yaitu siklon tropis Teratai yang lahir pada 1 Desember 2021. Siklon tropis Teratai, lahir di Samudra Hindia barat daya Banten, dan hanya memiliki masa hidup selama kurang lebih 24 jam sebelum melemah menjadi pusat tekanan rendah dan keluar dari wilayah AoR TCWC Jakarta.

Gambar 7 berikut ini menampilkan lintasan dari ke-8 siklon tropis tersebut. Arah panah menunjukkan arah gerak siklon tropis, indeks L untuk melambangkan Low Pressure Area dan angka untuk melambangkan kategori siklon tropis.



Gambar 7. Peta lintasan siklon tropis musim siklon tropis tahun 2021/2022 di Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia (Sumber : TCWC Jakarta)

Review Musim Siklon Tropis Tahun 2021/2022. Tabel 3 berikut menampilkan jumlah siklon tropis di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia sesuai outlook musim siklon tropis tahun 2021/2022 dan jumlah siklon tropis yang tumbuh dalam musim siklon tersebut.

Tabel 3. Jumlah Siklon Tropis

Outlook			Observasi		
S. Hindia barat daya Sumatra	S. Hindia selatan Jawa – Nusa Tenggara	Laut Timor,S. Hindia selatan Maluku-Papua	S. Hindia barat daya Sumatra	S. Hindia selatan Jawa – Nusa Tenggara	Laut Timor,S. Hindia selatan Maluku-Papua
7	5	3	4 (+2)	2	2

Secara umum jumlah siklon tropis yang tumbuh di basin Samudra Hindia selatan Indonesia, cenderung lebih sedikit dari jumlah siklon tropis yang diprediksi dalam Outlook musim siklon tropis 2021/2022 oleh TCWC Perth, Australia. Untuk basin Samudra Hindia barat daya Sumatra dan barat Australia diprediksi akan tumbuh 7 sistem dengan probabilitas 61%, dan pada kondisi di lapangan hanya tumbuh sebanyak 6 siklon tropis, yaitu 1 sistem di AoR, 3 sistem di dalam AoM, dan 2 sistem di luar AoM TCWC Jakarta.

Secara intensitas dari ke 8 siklon tropis yang lahir di dalam wilayah AoR TCWC Jakarta sebanyak 6 diantaranya merupakan siklon tropis kategori 1, dengan kecepatan angin maksimum berkisar antara 63-88 km/jam. Sementara 2 sistem lainnya, lahir di AoM TCWC Jakarta, merupakan siklon tropis kategori 2 dengan kecepatan angin maksimum berkisar antara 89-117 km/jam, yaitu siklon tropis Vernon dan siklon tropis Charlotte [10].

Begitupun dengan jumlah siklon tropis di Samudra Hindia selatan Jawa hingga Nusa Tenggara, dimana diprediksi akan tumbuh 5 sistem, dengan probabilitas 62%. Di lapangan terdapat 2 sistem yang tumbuh di AoM TCWC Jakarta. Sementara untuk Samudra Hindia selatan Maluku dan Papua, diprediksi akan tumbuh 3 siklon tropis, dengan probabilitas 57%, dan pada kondisi *real*-nya hanya 2 sistem tumbuh di AoM TCWC Jakarta. Sehingga dari total 15 siklon tropis yang diprediksi tumbuh di basin ini pada kenyataannya hanya lahir sebanyak 10 sistem, atau hanya sekitar 67% dari jumlah yang diprediksi sebelumnya.

Jika dibandingkan dengan nilai rata-rata frekuensi kejadian siklon tropis perbulan periode tahun 1980-2022, jumlah siklon tropis yang tumbuh di Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia bersifat Bawah Normal hingga Atas Normal. Dengan periode bulan dengan sifat Normal adalah bulan November 2021, Februari 2022, dan Maret 2022. Periode bulan dengan sifat Bawah Normal adalah bulan Desember 2021, Januari 2022, dan April 2022. Sementara bulan Mei 2022 memiliki sifat Atas Normal. Selengkapnya ditampilkan di tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rekapitulasi jumlah bibit siklon tropis di Samudra Hindia selatan Indonesia musim siklon tropis tahun 2021/2022

Periode Bulan	Rata-Rata	Kondisi Real
November 2021	0,7	1
Desember 2021	1,67	1
Januari 2022	2,16	1
Februari 2022	2,12	2
Maret 2022	1,77	2
April 2022	1,4	0
Mei 2022	0.3	1

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa musim siklon tropis di basin Samudra Hindia selatan wilayah Indonesia tahun 2021/2022 secara umum bersifat Bawah Normal, baik jika dibandingkan dengan nilai rata-rata klimatologisnya, maupun prediksi outlooknya. Dengan jumlah siklon tropis yang lahir di musim siklon ini sebanyak 10 sistem, dengan 2 diantaranya tumbuh diluar AoM TCWC Jakarta, dari total 15 sistem yang diprediksi akan tumbuh, atau hanya sekitar 67%. Frekuensi pertumbuhan bibit siklon tropis sepanjang musim siklon tropis 2021/2022 tercatat sebanyak 22 sistem, dengan sistem terbanyak tumbuh di bulan Desember 2021 dan Februari 2022. Frekuensi siklon tropis perbulan di musim siklon tropis 2021/2022 bersifat Bawah Normal-Normal.

Namun ada 1 sistem yang lahir diluar musim siklon tropis, yaitu di Mei 2022. Sebanyak 6 dari 8 siklon tropis yang lahir pada musim siklon tropis 2021/2022 ini merupakan siklon tropis kategori 1. Sementara 2 lainnya adalah kategori 2. Terdapat 1 siklon tropis yang lahir di dalam AoR TCWC Jakarta, yaitu siklon tropis Teratai, pada tanggal 1 Desember 2021, namun periode hidupnya hanya 6 jam, dan menimbulkan dampak tidak langsung berupa hujan lebat dan angin kencang di Sebagian wilayah di Provinsi Banten. Siklon tropis Vernon merupakan siklon tropis dengan kecepatan angin tertinggi pada musim siklon tropis 2021/2022, yaitu 185 km/jam. Sementara siklon tropis Charlotte merupakan siklon tropis dengan periode hidup terpanjang dalam musim siklon 2021/2022, yaitu antara tanggal 17 – 26 Maret 2022.

Daftar Pustaka

- [1] Australian Bureau of Meteorology.(2022).*Australian tropical cyclone season outlook*. Diakses dari www.bom.gov.au
- [2] Felton, S.C, et all.(2013).ENSO-Modulated Cyclogenesis over the Bay of Bengal.*Journal Ametsoc*,9806-9818. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00134.1>
- [3] Corporal-Lodangco, I.L, et all.(2016). Impacts of ENSO on Philippine Tropical Cyclone Activity.*Journal Ametsoc*,1877-1897. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00723.1>
- [4] Tropical Cylone Warning Center Jakarta.(2021).Informasi siklon tropis Teratai.Pusat Meteorologi Publik BMKG Jakarta.
- [5] WKBN First news.(2022).*Rare December tropical disturbance pops up in the Atlantic*.Diakses dari <https://www.wkbn.com/news/national-world/rare-december-tropical-disturbance-pops-up-in-the-atlantic/>
- [6] Tropical Cylone Warning Center Jakarta.(2022).*Learn About TC*. Diakses dari <http://meteo.bmkg.go.id/siklon/learn/01/id>
- [7] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.(2022).*Dinamika Atmosfer*. Diakses dari <https://www.bmkg.go.id/>.
- [8] Tropical Cylone Warning Center Jakarta.(2022).*Database Siklon Tropis Musim Siklon 2021/2022*.Pusat Meteorologi Publik BMKG Jakarta.
- [9] Tropical Cylone Warning Center Jakarta.(2021).*Analisis Harian Bibit Siklon Tropis*.Pusat Meteorologi Publik BMKG Jakarta.
- [10] Australian Bureau of Meteorology.(2022).*Tropical Cyclone Information*. Diakses dari <http://www.bom.gov.au/cyclone/history.shtml>

IDENTIFIKASI QUASI-LINEAR CONVECTIVE SYSTEM MENGUNAKAN RADAR C-BAND DI WILAYAH MAKASSAR (Studi kasus Desember 2018 – Mei 2019)

IDENTIFICATION OF QUASI-LINEAR CONVECTIVE SYSTEMS USING C-BAND RADAR IN MAKASSAR AREA (Case study December 2018 – May 2019)

Muhammad Arief Rahman Siregar^{1*}, Hasti Amrih Rejeki²

¹Stasiun Meteorologi F.L. Tobing, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

²Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

*E-mail: ariefregar26@gmail.com

Naskah masuk: 3 Februari 2021 Naskah diperbaiki: 4 Desember 2022 Naskah diterima: 14 Maret 2023

ABSTRAK

Quasi - Linear Convective System (QLCS) merupakan suatu fenomena sistem cuaca konvektif yang berpotensi menyebabkan terjadinya hujan lebat, petir (CG), dan angin kencang yang sifatnya merusak. Penelitian ini mengambil kasus kejadian QLCS Desember 2018 – Mei 2019 di cakupan radar cuaca Makassar yang memiliki jaringan pengamatan radar cuaca berbasis *C-Band* dengan produk *Column Maximum CMAX*, *Central Tracking*, *Combined Moment*, dan *Vertical Shear*. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui pola sebaran spasial, temporal, profil angin QLCS dan dampak QLCS terkait kejadian petir (CG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola QLCS di wilayah cakupan radar cuaca Makassar teridentifikasi 32 kasus QLCS dengan durasi terbanyak pada 30-60 menit. Lokasi pembentukan QLCS dominan di *Coastal Ocean* dengan waktu inisiasi terbanyak saat malam hari pada rentang waktu 18.00-23.59 *Local Time*. Arah propagasi terbanyak ke arah timur-tenggara sebanyak 47% dengan kecepatan propagasi sel QLCS didominasi oleh *slow moving* sebesar 47%. Kecepatan angin *Vertical Wind Shear (VWS)* ditemukan 3 dari 4 jenis pembentukan QLCS yaitu *broken line*, *back building*, *broken areal*, *embedded areal*, bahwa kecepatan VWS maksimum saat fase matang. Dampak QLCS yang dikaitkan dengan terjadinya petir (CG), hanya 10 dari 32 kasus (31.25%) yang dapat menimbulkan petir (CG) *cloud to ground (CG)*.

Kata kunci: QLCS, Radar cuaca, VWS, Petir CG

ABSTRACT

Quasi-Linear Convective System (QLCS) as one of the phenomena that can cause heavy rains, potency of thunderstorm, and destructive strong winds. This research investigated the occurrence of QLCS in December 2018 – May 2019 in the coverage of Makassar weather radar are which has a C-Band-based weather radar monitoring network with *CMAX*, *Central Tracking*, *Combined Moment*, and *Vertical Shear* products. The aim of this conducted observation is to find out the distribution pattern of spatial-temporal and wind profile of QLCS and its impact related to thunderstorm. The result shows there are 32 identified cases of QLCS in the Makassar weather radar coverage area which has the duration mostly between 30-60 minutes. The dominant location of QLCS formation is founded in the coastal ocean (CO) which the initiation time mostly happened at night (18.00-23.59 local time). The most direction of propagation is east-southeast by 47% with propagation speed of QLCS cells dominated by slow moving by 47%. *Vertical Wind Shear (VWS)* speed caused by QLCS, 3 of the 4 types of formation of the maximum VWS speed are always when the phase matures. There are 10 of 32 cases (31,25%) of QLCS which identified as its impact related to the occurrence of thunderstorm cloud to ground (CG).

Keywords: QLCS, Weather Radar, VWS, Thunderstorms CG

1. Pendahuluan

Mesoscale Convective System (MCS) atau sistem konvektif skala meso merupakan sistem kumpulan dari awan Cumulonimbus yang menghasilkan area presipitasi dalam skala horisontal setidaknya 100 km dan berpotensi membawa hujan lebat, angin kencang, *thunderstorms*, banjir, hujan es (*hail*), dan bahkan tornado [1]. Ali dan Adriyanto [2] melakukan kajian di Balikpapan dan Jakarta mengenai sistem konvektif tipe linier tidak terdapat sistem yang memiliki masa hidup lebih dari 6 jam sehingga tidak dapat dikategorikan sebagai MCS jenis tropical squall, melainkan dikategorikan ke dalam fenomena Quasi-Linear Convective System (QLCS)[2]. Perbedaan mendasar antara QLCS dan squall line terletak di masa hidupnya. Dalam Maddox [3] squall line memiliki masa hidup lebih dari 6 jam sedangkan dalam Lombardo dan Colle [4] QLCS tidak dibatasi masa hidupnya namun dibawah 6 jam .

QLCS adalah kumpulan sel – sel awan konvektif y *Quasi-Linear Convective System* (QLCS) menjadi pembentuk awan supersel dengan waktu yang kurang dari 10 menit menyebabkan tornado dengan skala F1 hingga skala F2 yang merusak di wilayah Wisconsin, Amerika Serikat [5]. Kondisi cuaca yang disebabkan oleh QLCS dan supersel memiliki persamaan yang merupakan penyebab terjadinya tornado dab QLCS bahkan menyumbang 18% penyebab terjadinya tornado di Amerika dari tahun 1998 –2000 [5].

Instrumen pengamatan cuaca yang dapat digunakan untuk memantau keberadaan QLCS adalah radar cuaca. Radar cuaca dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan ketika ada muncul sistem badai [6]. Selain itu, radar cuaca juga digunakan untuk mendiagnosis potensi cuaca buruk dengan mengidentifikasi karakteristik untuk kejadian tornado yang disebabkan QLCS [6]. Pemanfaatan radar cuaca dalam hal ini radar cuaca *X – Band* juga pernah dilakukan untuk meneliti QLCS di wilayah Oklahoma Amerika [7].

Beberapa penelitian terkait QLCS telah dilakukan di Indonesia. Kajian awal QLCS di Indonesia dilakukan Ali dan Adriyanto [2] dengan mengklasifikasikan QLCS berdasarkan letak tumbuhnya dan analisis profil angin lapisan bawah serta profil angin lapisan bawah pada kejadian QLCS di Indonesia menggunakan 9 kasus QLCS di Jakarta dan Balikpapan. Wilayah Jakarta selanjutnya

diasumsikan sebagai *flat land* dan wilayah Balikpapan diasumsikan sebagai *sea coastal area*. Penelitian tersebut menyatakan analisis hanya dilakukan pada awan konvektif dan pada awan *stratiform* arah dan kecepatan angin kurang dipertimbangkan. Pada wilayah *flat land* arah dan kecepatan angin sejajar dengan propagasinya seiring dengan QLCS yang stasioner, dan kecepatan angin paling signifikan terletak di tengah sistem. Berbeda dengan area *sea coastal* yang memiliki profil angin rata-rata tegak lurus terhadap sistem dari masa pertumbuhan hingga peluruhan, dan memiliki arah propagasi yang sejajar dengan garis pantai. Penelitian berikutnya dilakukan untuk mengetahui sebaran spasial, temporal, profil propagasi, profil angin lapisan bawah, dan karakteristik pembentukan QLCS di Maumere, Surabaya, dan Pangkalan Bun menggunakan radar cuaca berbasis C-Band pada daerah dengan pola iklim dan tipe hujan yang sama yaitu tipe monsun [8].

Penelitian Williams dan Carey (2015) di Alabama menganalisis persamaan dan perbedaan ketika terdapat petir (CG) pada peristiwa QLCS tornado maupun yang non-tornado dan hasilnya adalah tornado yang disebabkan oleh QLCS dapat memicu peningkatan intensitas petir (CG) yang lebih besar daripada kasus QLCS non-tornado [9]. Petir (CG) merupakan peristiwa yang berkaitan dengan proses dinamika atmosfer terutama mikrofisika awan, sehingga dapat dijadikan sebagai bagian karakteristik maupun identifikasi kondisi cuaca [10]. Petir (CG) dianggap sebagai fenomena cuaca berbahaya karena dapat menjalar dengan kecepatan cahaya dan energi dari muatan petir (CG) dapat mencapai lebih dari 200.000 *ampere* atau beberapa puluh juta volt [11].

Kajian mengenai sistem badai konvektif bertipe linier oleh Lombardo dan Colle [4] menemukan perbedaan karakteristik sistem konvektif tipe linier di berbagai wilayah seperti pada *high terrain, slope, coastal plain* maupun *coastal ocean*. Topografi Makassar dikelilingi dataran rendah/pantai di sebelah barat yang berbatasan dengan Selat Makassar, dan dataran tinggi di sebelah timur [12].

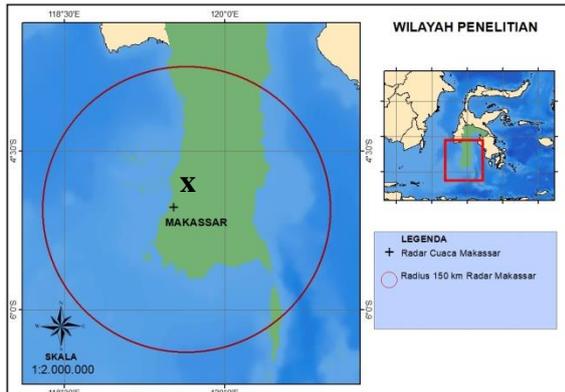
Berdasarkan efek cuaca yang dapat dihasilkan oleh QLCS dan juga karakteristik topografi wilayah Makassar, maka penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan dan kaitannya QLCS terhadap kejadian petir (CG) dengan memanfaatkan radar cuaca di wilayah Makassar. Selain itu, dengan potensi bahaya petir (CG) yang dapat dihasilkan oleh fenomena

QLCS, penelitian ini juga melihat seberapa besar dampak QLCS terhadap potensi jumlah kejadian *thunderstorm* (TS) atau petir (CG).

2. Metode Penelitian

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi studi ini dilakukan di wilayah radar cuaca Makassar dengan cakupan luasan 150 km dengan letak astronomis 4° LS - 6° 30' LS dan 118° 00' BT - 120° 05' BT (Gambar 1). Waktu penelitian ini dilakukan selama 6 bulan mulai dari Desember 2018 – Mei 2019.



Gambar 1. Wilayah Penelitian Lokasi Radar (+) dan Lokasi *Lightning Detector* (X)

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kejadian QLCS yang diamati oleh Radar cuaca Makassar dengan tipe *Gematronik C-Band* dengan luasan wilayah bisa mencapai 250 kilometer dengan *raw data* format volumetrik (.vol) dengan resolusi waktu 10 menit dengan spasial 300 meter yang didapatkan dari sub bidang pusat pengelolaan citra radar BMKG.

Kejadian petir (CG) dianalisis berdasarkan data pengamatan petir (CG) yang terekam oleh sensor *lightning detector* dengan cakupan 150 km di Stasiun Geofisika Gowa selama Desember 2018 – Mei 2019 yang terletak dekat kasus QLCS di wilayah cakupan 150 km radar cuaca Makassar. Secara umum petir terdiri dari 4 jenis, yakni petir di dalam awan (*Intra Cloud / IC*), petir dari awan ke awan (*Cloud to Cloud / CC*), petir awan ke udara (*Cloud to Air / CA*), dan petir dari awan ke tanah (*Cloud to Ground / CG*) [13]. Pada penelitian ini difokuskan pada petir (CG) jenis awan ke tanah (*Cloud to Ground / CG*) karena yang langsung berdampak kepada kehidupan manusia.

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dan analisis dalam penelitian ini dimulai dengan pengumpulan *raw data* radar cuaca Gematronik Makassar bulan Desember 2018 hingga Mei 2019. Kemudian memilih kejadian QLCS dengan menampilkan nilai *reflectivity* minimum dan maksimum pada produk *Column Maximum CMAX (Z)* yang dapat menghasilkan pandangan gambar dari nilai yang diukur tertinggi pada arah vertikal, yaitu di kolom vertikal di atas setiap pixel. CMAX mengambil set data mentah volume polar, mengkonversinya ke volume *cartesian* dan di *input* pada Rainbow 5.49.11 dengan kriteria syarat QLCS itu harus memenuhi nilai *reflectivity* tertentu, sel itu bisa dikatakan QLCS jika nilai nya minimum 35 dBZ saat mulai terbentuk dan lebih dari 50 dBZ inti selnya saat fase matang, untuk panjang sel lebih dari 50 km dan perbandingan panjang dan lebar maksimum 5:1 dengan *reflectivity* bagian inti ≥ 50 dBZ [4]. Lalu melakukan identifikasi fase kejadian QLCS yang telah didapat secara temporal dan spasial dari produk CMAX. Fase kejadian secara temporal dibedakan berdasarkan fase inisiasi dengan *reflectivity* >35 dBZ fase matang dengan *reflectivity* menunjukkan nilai >50 dBZ, dan fase disipasi dengan *reflectivity* mulai <50 dBZ, serta total waktu hidup [4]. Adapun secara spasial untuk memperoleh lokasi sebaran terjadinya QLCS berdasarkan fase inisiasi, matang, dan disipasi. Lokasi tersebut terbagi berdasarkan wilayah laut atau *coastal ocean* (CO), dataran rendah atau *coastal plain* (CP), dan dataran tinggi atau *high terrain* (HT) [4].

Kasus QLCS tersebut kemudian diklasifikasikan jenis pembentukannya yang sama dengan *squall line* menjadi *broken line*, *back building*, *broken areal*, dan *embedded areal*. Bluestein dkk [14] menjelaskan bahwa *broken line formation* ditandai dengan munculnya sel awan dalam bentuk garis yang terpisah-pisah namun berdekatan, dan terbentuk dalam waktu yang relatif sama. Transformasi menjadi pola garis solid terjadi saat setiap sel yang lama mengembang dan sel baru dapat tumbuh diantara sel yang lama. *Back building formation* ditandai dengan adanya sel tunggal besar yang diikuti munculnya sel baru secara periodik yang relatif terhadap arah pergerakan sel utama. diawali dengan sel tunggal besar kemudian sel awan baru tumbuh melebar mengarah ke sel awan yang lama dan bergabung menjadi pola baru. *Broken areal formation* ditandai dengan pertumbuhan sel *amorf* (tak berbentuk) dengan intensitas sedang hingga kuat yang kemudian bergabung membentuk pola garis solid.

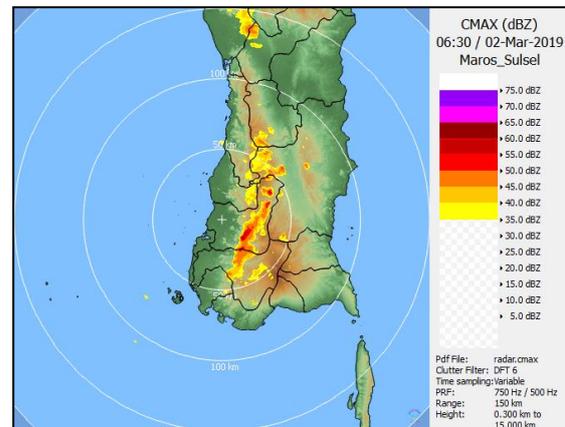
Embedded areal formation ditandai dengan munculnya garis konvektif dalam area presipitasi *stratiform* yang luas [14]. Hasil ini dapat diperoleh dengan radar cuaca menggunakan produk CMAX.

Pembentukan profil propagasi yaitu arah dan kecepatan QLCS menggunakan produk CMAX untuk *reflectivity* (Z), dan *Combined Moment* (CM). Arah dan kecepatan angin yang diperoleh dari *output* produk radar tersebut. Arah yang dimaksud adalah kemana QLCS bergerak berdasarkan delapan arah mata angin untuk menentukan propagasi kecepatan sel QLCS dengan produk *Cell Centroid Tracking* (CTR) dan di *overlay* dengan produk CMAX kecepatan propagasi dibedakan menjadi *slow moving* dengan kecepatan kurang dari 3 m/s, *intermediate moving* antara 3 sampai 7 m/s, dan *fast moving* dengan kecepatan lebih dari 7 m/s [15]. Kemudian menentukan kecepatan *Vertical wind shear* (VWS) sel QLCS dengan produk *Vertical Shear* (VSHEAR) dan digabung dengan CMAX. Produk ini berguna untuk mendeteksi adanya perpindahan angin ke atas secara mendadak. Profil angin vertikal QLCS dapat dilihat pula dari *Vertical Wind Shear* (VWS). VWS merupakan perubahan kecepatan horizontal terhadap ketinggian, dan kecepatan horizontalnya merupakan suatu vektor yang memiliki arah dan kecepatan, sehingga nilai VWS dapat dihitung melalui selisih vektor angin horizontal pada dua lapisan yang berbeda [16]. Adapun produk VSHEAR mengambil data volume sebagai input. Nilai kecepatan dikalkulasikan pada dua lapisan cartesian. Nilai shear didefinisikan sebagai perbedaan absolut dari kecepatan diantara bidang cartesian. Terakhir, Menganalisis rawdata pengamatan TS (petir (CG)) yang diolah dari alat *lightning detector* hingga dihasilkan peta sambaran petir (CG) dan tabel berisi daftar jenis-jenis sambaran petir (CG). Dari tabel daftar jenis sambaran petir (CG) ini dapat diperoleh informasi waktu kejadian sambaran petir (CG) *Cloud to Ground* pada kasus QLCS terpilih yang telah diolah terlebih dahulu menggunakan produk radar cuaca. Identifikasi kasus QLCS

tersebut kemudian dianalisis dan menarik kesimpulan karakteristik kejadian QLCS dan dampak kejadian petir (CG) di cakupan radar cuaca Makassar.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data radar cuaca Makassar pada bulan Desember 2018 hingga Mei 2019 dengan produk CMAX terdapat 32 kasus QLCS yang teramati di wilayah jangkauan radar tersebut dengan radius 150 km. Adapun contoh kejadian QLCS yang teridentifikasi oleh radar cuaca Makassar selama rentang waktu penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kejadian QLCS pada 02 Maret 2019 pukul 06.30 UTC di Wilayah Makassar dengan produk CMAX

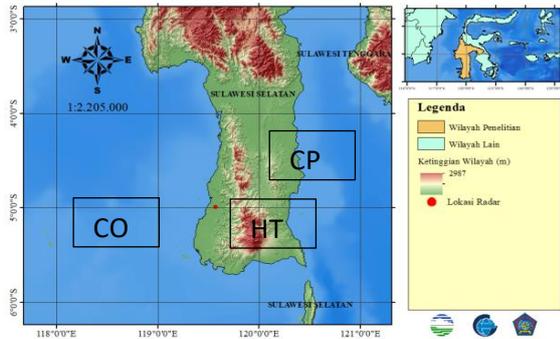
Tabel 1 rincian kejadian QLCS di wilayah Makassar Desember 2018 hingga Mei 2019. Berdasarkan Tabel 1, diketahui kejadian QLCS paling banyak terjadi pada bulan Februari 2019 sebanyak 9 kasus. Adapun kejadian QLCS paling sedikit terjadi pada bulan Maret 2019 yang hanya berjumlah 2 kasus. Kejadian QLCS dengan nilai reflektifitas maksimum terbesar terjadi pada kasus ke-24 tanggal 02 Maret 2019 dengan nilai 60 dBZ dan nilai *reflectivity* maksimum terendah terjadi pada kasus ke-16 tanggal 04 Februari 2019 dengan nilai 50 dBZ.

Tabel 1. Kejadian QLCS di Makassar Desember 2018 hingga Mei 2019

Kasus ke -	Tanggal QLCS	dBZ max	Panjang (Km)	Kasus ke -	Tanggal QLCS	dBZ max	Panjang (Km)
1	2018-12-07	54.5	59.6	17	2019-02-05	51.5	62.4
2	2018-12-08	53.5	54.8	18	2019-02-05	50.5	62.3
3	2018-12-10	52.5	54.6	19	2019-02-05	50.5	56.8
4	2018-12-10	56.5	51.6	20	2019-02-23	55.5	73.9
5	2018-12-11	53.5	72.2	21	2019-02-27	55.0	54.41
6	2018-12-11	51.5	82.6	22	2019-02-27	52.0	90.20
7	2018-12-12	54.0	71.2	23	2019-02-28	50.5	87.4
8	2019-01-24	52.0	60.7	24	2019-03-02	60.0	60.7
9	2019-01-24	51.0	135.7	25	2019-03-28	52.0	78.4
10	2019-01-24	51.0	56.4	26	2009-04-05	52.5	80.4
11	2019-01-25	50.5	83.2	27	2019-04-24	51.5	55.6
12	2019-01-26	52.5	52.3	28	2019-04-28	56.0	86.1
13	2019-01-27	53.0	89.3	29	2019-05-01	51.5	151.1
14	2019-01-28	55.0	64.1	30	2019-05-01	53.5	78.1
15	2019-02-03	52.0	57.2	31	2019-05-02	52.0	88.0
16	2019-02-04	50.0	52.6	32	2019-05-04	54.5	105.1

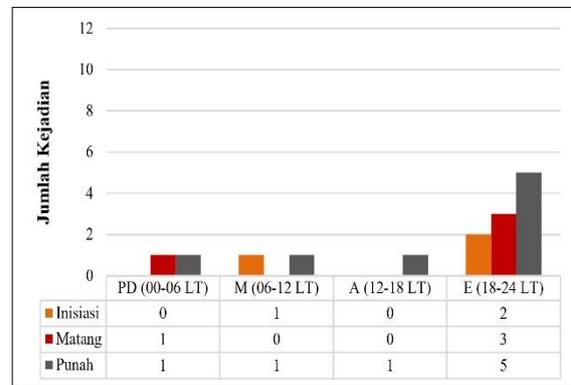
Analisis Sebaran Temporal dan Spasial dari QLCS

Sebaran temporal QLCS diklasifikasikan menjadi 4 kategori waktu, yaitu dini hari atau *pre-dawn* (PD) pukul 00.00 – 05.59 LT, pagi hari atau *morning* (M) pukul 06.00 – 11.59 LT, siang hari atau *afternoon* (A) pukul 12.00 – (c) (a) (b) (d) 29 17.59 LT, dan malam hari atau *evening* (E) pukul 18.00 – 23.59 LT. Adapun sebaran spasial dilihat dari lokasi terjadinya QLCS diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu wilayah *coastal ocean* (CO), *coastal plain* (CP) / *slope*, dan *high terrain* (HT). Dapat dilihat di Gambar 3.

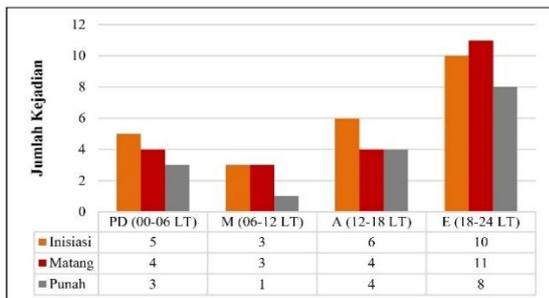


Gambar 3. Sebaran wilayah *coastal ocean* (CO), *coastal plain* (CP) / *slope*, dan *high terrain* (HT).

Pada wilayah *coastal ocean* (CO) terdapat 24 kasus QLCS saat fase inisiasi, 22 kasus pada saat fase matang, dan 16 kasus pada saat punah. QLCS paling banyak kasusnya terjadi pada malam hari yaitu 10 kasus pada fase inisiasi, 11 kasus pada fase matang, dan 8 kasus pada fase punah. QLCS di wilayah (CO) paling sedikit terjadi pada pagi hari sebanyak 3 kasus pada fase inisiasi, 3 kasus pada fase matang, dan 1 kasus fase punah. Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

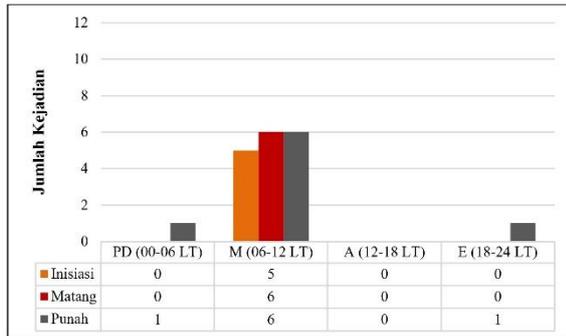


Gambar 5. Sebaran temporal dan spasial QLCS wilayah *Coastal Plain* Makassar



Gambar 4. Sebaran temporal dan spasial QLCS wilayah *Coastal Ocean* Makassar

Pada wilayah *coastal plain* (CP) terdapat 3 kasus QLCS saat inisiasi, 4 kasus pada saat fase matang, dan 8 kasus pada saat punah. QLCS paling banyak juga terjadi pada malam hari yaitu 2 kasus pada fase inisiasi, 3 kasus pada fase matang, dan 5 kasus fase punah. QLCS pada siang hari menunjukkan jumlah kasus yang rendah dengan memiliki 1 kasus pada fase punah. Data tersebut dapat dilihat di Gambar 5.



Gambar 6. Sebaran temporal dan spasial QLCS wilayah *High Terrain* Makassar

Pada wilayah *high terrain* (HT) hanya pada pagi hari terdeteksi kasus QLCS yaitu 5 kasus saat inisiasi, 6 kasus pada saat fase matang, dan 6 kasus pada saat punah. Pada siang hari tidak terdeteksi adanya kasus QLCS, sedangkan malam dan dini hari hanya memiliki 1 kasus fase punah. Data tersebut dapat dilihat di Gambar 6.

Dari data yang diperoleh diatas bahwa selama periode penelitian, tidak terdapat QLCS di cakupan radar cuaca Makassar yang bertahan lebih dari 90 menit. Hal ini sesuai dengan penelitian Ali dan Adriyanto [1] di wilayah Balikpapan dan Jakarta yang juga menyatakan sistem QLCS tidak dapat bertahan lebih dari 120 menit dan juga sesuai dengan penelitian Lombardo dan Colle [4] bahwa tidak ada QLCS yang bertahan lebih dari 6 jam.

Klasifikasi Pembentukan QLCS

Berdasarkan hasil pengamatan radar cuaca Makassar pada Desember 2018 hingga Mei 2019 menggunakan produk *reflectivity* maksimum (C_{MAX}) yang digunakan untuk analisis klasifikasi pembentukan QLCS yang dilihat dari fase inisiasi hingga ke matang. Klasifikasi pembentukan QLCS dibedakan menjadi empat tipe, yaitu *broken line*, *back building*, *broken areal*, dan *embedded areal* ditemukan hasil sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

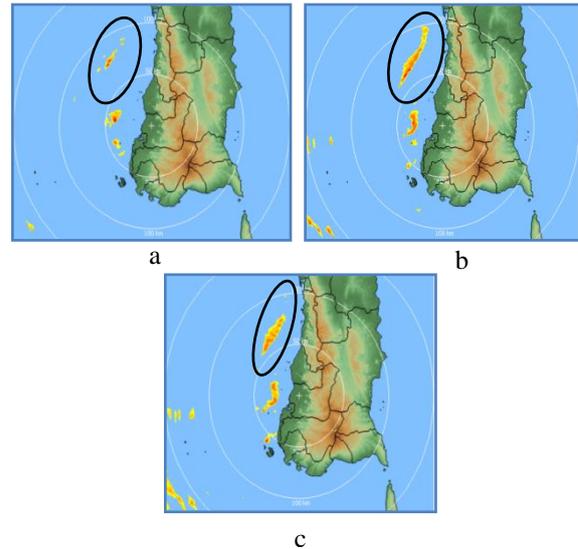
Tabel 2. Klasifikasi pembentukan QLCS periode Desember 2018 – Mei 2019

Jenis Pembentukan	CO	CP	HT	Jumlah
<i>Broken Line</i>	15	1	3	19
<i>Back Building</i>	8	1	-	9
<i>Broken Areal</i>	-	-	1	1
<i>Embedded Areal</i>	1	1	1	3

Broken line

QLCS tipe *broken line* di Makassar terdapat 19 kasus dan paling dominan terdapat di wilayah *coastal ocean*.

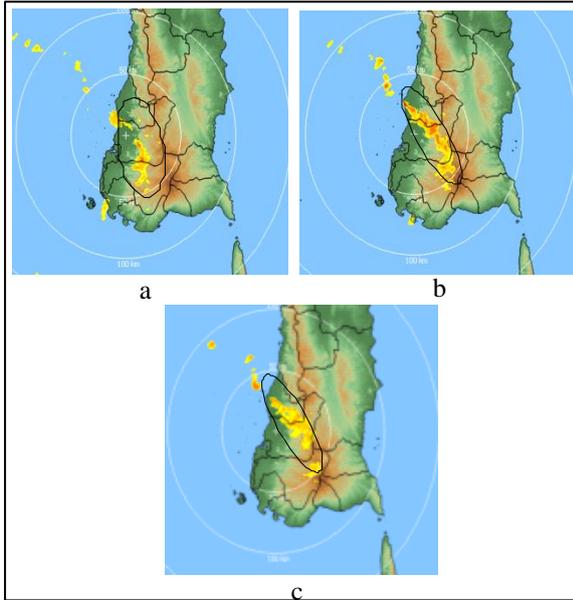
Tipe ini ditandai dengan munculnya sel awan dalam bentuk garis yang terpisah-pisah namun berdekatan, dan terbentuk dalam waktu yang relatif sama membentuk pola linier. Jenis pembentukan *broken line* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pembentukan QLCS tipe *broken line* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase punah (c)

Back building

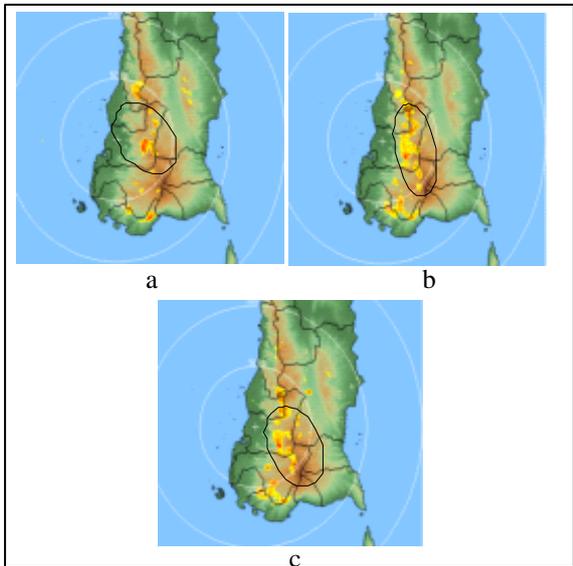
QLCS tipe *back building* di Makassar terdapat 9 kasus dan paling dominan terdapat di wilayah *coastal ocean* (CO). Tipe ini diawali dengan sel tunggal besar dan sel tunggal kecil, kemudian sel awan baru tumbuh melebar mengarah ke sel awan yang lama dan bergabung menjadi pola linier. Jenis pembentukan *back building* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pembentukan QLCS tipe *back building* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase purnah (c)

Broken areal

QLCS tipe *broken areal* di Makassar terdapat hanya 1 kasus yang terdapat wilayah *high terrain* (HT). Tipe ini ditandai dengan pertumbuhan sel *amorf* (tak berbentuk) dengan intensitas sedang hingga kuat yang kemudian bergabung membentuk pola garis linier. Jenis pembentukan *broken areal* ditunjukkan pada Gambar 9.

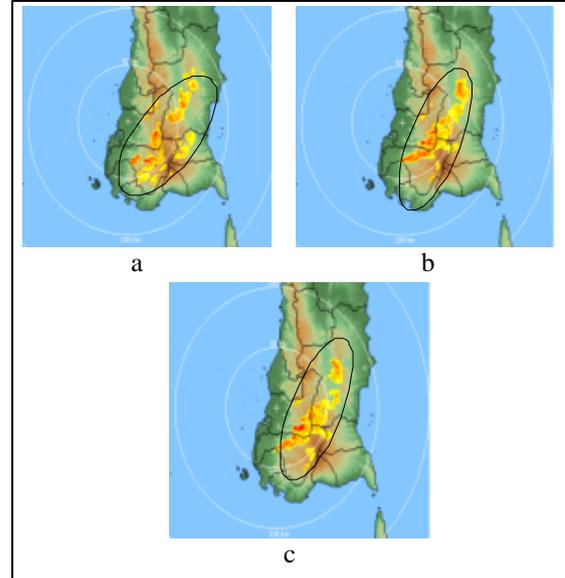


Gambar 9. Pembentukan QLCS tipe *broken areal* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase purnah (c)

Embedded areal

QLCS tipe *embedded areal* di Makassar terdapat 3 kasus yang terdapat di tiga wilayah pembentukan *coastal ocean* (CO), *coastal plain*

(CO), dan *high terrain* (HT). Tipe ini ditandai dengan area sel stratiform yang besar dan didalamnya terdapat sistem konvektif dengan garis linear. Jenis pembentukan *embedded areal* ditunjukkan pada Gambar 10.

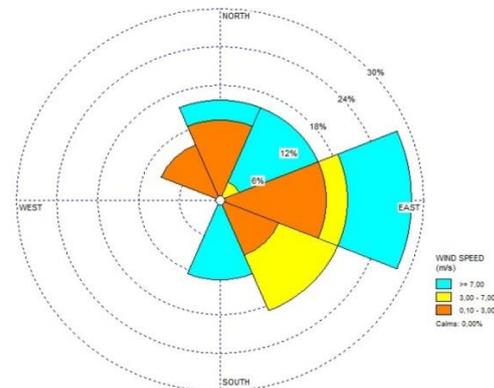


Gambar 10. Pembentukan QLCS tipe *embedded areal* fase inisiasi (a), fase matang (b), dan fase purnah (c)

Hasil ini memiliki sedikit perbedaan dari kejadian QLCS yang diteliti oleh Astuti dkk [17] di wilayah Bengkulu yang menemukan hasil sebaran QLCS tetap dominan terjadi di *coastal ocean* (CO) namun dengan waktu inisiasi terbanyak pada rentang waktu dini hari atau *pre-dawn* 00.00-05.59 *local time*.

Profil Propagasi QLCS

Identifikasi profil propagasi QLCS meliputi arah dan kecepatan pergerakannya saat fase matang menuju fase purnah dengan produk CMAX, di *overlay* dengan produk *Combined Moment* (CM) untuk dapat mengetahui kemana arah sel bergerak.



Gambar 11. Windrose arah propagasi dan

kecepatan dari 32 kasus QLCS dengan aplikasi *windrose* dengan datanya yang diperoleh dari *output* produk Radar Cuaca.

Berdasarkan hasil *overlay* produk CMAX dan CM pada Gambar 11 diketahui bahwa kejadian QLCS di cakupan radar cuaca Makassar dan di *input* ke dalam aplikasi *windrose* memiliki arah propagasi dominan ke arah timur sebanyak 28%, kemudian diikuti arah tenggara sebanyak 19%, ke arah utara-timur laut memiliki presentase yang sama yaitu 16%, ke arah selatan sebanyak 12%, dan ke arah barat laut sebanyak 9%. Kejadian QLCS di cakupan radar cuaca Makassar memiliki arah propagasi terbanyak ke arah timur-tenggara sebesar 47% yang berbanding lurus dengan aktifnya angin monsun dari Asia pada bulan Desember - Januari - Februari (DJF) dan Maret - April - Mei (MAM) yang membawa massa udara basah dari Asia yang memasuki wilayah Indonesia. Adapun Hasil analisis kecepatan propagasi sistem QLCS berdasarkan Barnes dan Sieckman [15] yang mengklasifikasikan kecepatan sistem konvektif menjadi tiga jenis yaitu, *slow moving* (kurang dari 3 m/s), *intermediate moving* (3 sampai 7 m/s), dan *fast moving* (lebih dari 7 m/s). QLCS di wilayah radar cuaca Makassar pada bulan Desember

2018 – Mei 2019 didominasi oleh pergerakan *slow moving* sebesar 47% atau sebanyak 15 kasus, Kemudian diikuti oleh *fast moving* sebanyak 37% atau 12 kasus dan *intermediate moving* sebesar 16% atau 5 kasus.

Profil Kecepatan Vertical Wind Shear (VWS) QLCS

Hasil analisis dari adanya QLCS terhadap VWS di Makassar yang sebelumnya didapatkan dari produk radar VSHEAR dari jumlah kasus QLCS berdasarkan jenis pembentukannya klasifikasi jenis pembentukan QLCS terhadap adanya VWS periode Desember 2018 – Mei 2019 ditunjukkan pada Tabel 3. Adanya VWS yang disebabkan oleh QLCS memiliki kecepatan yang bervariasi. Tipe pembentukan *broken line* saat fase inisiasi memiliki kecepatan VWS yang paling tinggi sebesar 2.62 m/s/km. Tipe *broken areal* saat fase matang memiliki nilai kecepatan VWS yang paling tinggi sebesar 7,37 m/s/km dan tipe *embedded areal* saat fase purnya memiliki kecepatan VWS yang paling tinggi sebesar 4,38 m/s/km. Terdapat 3 dari 4 jenis pembentukan QLCS, kecepatan VWS maksimum saat fase matang dan menurun saat fase purnya. Adapun anomali tipe *embedded areal* memiliki kecepatan VWS maksimum ketika fase purnya QLCS.

Tabel 3. Klasifikasi jenis pembentukan QLCS terhadap adanya VWS periode Desember 2018 – Mei 2019

No	Jenis Pembentukan	Fase			Jumlah Kasus
		Inisiasi (m/s)/km	Matang (m/s)/km	Purnya (m/s)/km	
1.	<i>broken line</i>	2,62	3,75	2,51	19
2.	<i>broken areal</i>	0,77	7,37	0,49	1
3.	<i>back building</i>	1,70	4,35	2,44	9
4.	<i>embedded areal</i>	1,23	3,74	4,38	3

Tabel 4. Dampak QLCS terhadap kejadian petir *Cloud to Ground* (CG) periode Desember 2018 – Mei 2019

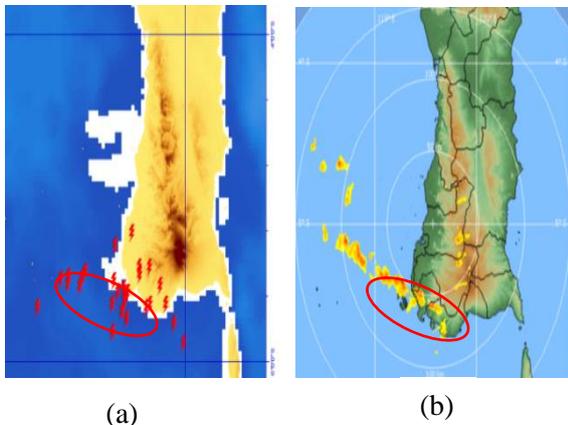
No.	Tanggal QLCS	dBZ max	Jenis Pembentukan
1.	2018-12-11	51.5	<i>back building</i>
2.	2019-01-24	52.0	<i>broken line</i>
3.	2019-01-27	53.0	<i>back building</i>
4.	2019-01-28	55.0	<i>broken line</i>
5.	2019-02-05	50.5	<i>broken line</i>
6.	2019-02-23	55.5	<i>broken line</i>
7.	2019-03-02	60.0	<i>embedded areal</i>
8.	2019-04-05	52.5	<i>broken line</i>
9.	2019-05-01	51.5	<i>broken line</i>
10.	2019-05-02	52.0	<i>embedded areal</i>

QLCS terkait dampak kejadian petir (CG)

Berdasarkan hasil pengamatan *lightning detector* stasiun Geofisika Gowa Makassar periode Desember 2018 – Mei 2019, dari 32 kasus QLCS terdapat 10 kasus QLCS yang dapat menimbulkan kejadian petir (CG) dan 22 kasus QLCS tidak menimbulkan kejadian petir (CG). Berdasarkan data tersebut diperoleh bahwa QLCS dengan *reflectivity* berkisar antara 50 - 60 dBZ saat fase matang, tidak ditemukan pola khusus untuk kejadian petir (CG) sesuai dengan lokasi QLCS. Hal ini bertentangan dengan aktivitas petir (CG) yang terjadi di area dengan nilai diatas 30 dBZ wilayah Maryland seperti yang disampaikan oleh Anderson dkk [18]. Penelitian ini membahas sampel dua kasus kejadian petir (CG) yang signifikan dan tidak signifikan. Rincian QLCS terhadap kejadian petir (CG) ditampilkan dalam Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 ditemukan bahwa 3 dari 10 kasus kejadian petir (CG) terjadi pada bulan Januari. Kejadian petir (CG) yang disebabkan QLCS di wilayah Makassar didominasi jenis pembentukan QLCS tipe *broken line* dengan 6 dari 10 kasus kejadian petir (CG).

Contoh perbandingan spasial saat terjadi sambaran petir (CG) pada tanggal 24 Januari 2019 ditampilkan pada Gambar 11. Data pengamatan *lightning detector* menunjukkan tercatat sambaran petir (CG) pukul 06.30 – 07.30 WITA di selatan cakupan radar cuaca Makassar. Pengamatan dimulai saat terjadinya fase inisiasi hingga purnahnya QLCS dimana radar menunjukkan pukul 23.00 UTC (07.00 WITA) ketika QLCS saat fase matang. *Reflectivity echo* radar cuaca Makassar pada pukul 23.00 UTC (07.00 WITA) di lokasi terjadinya sambaran petir (CG) memiliki nilai 52.0 dBZ.



Gambar 11. Peta sambaran petir (CG) (a) dan citra radar produk CMAX (b) pada tanggal 24 Januari

2019 00.20 UTC, dimana lingkaran merah menunjukkan sel echo QLCS dan petir (CG)

Penelitian yang ditemukan dari 32 kasus QLCS yang teridentifikasi, hanya 10 kasus (31.25%) QLCS yang dapat menimbulkan terjadinya petir (CG), sementara pada 22 kasus lainnya (68.75%) tidak terdeteksi kejadian petir (CG). Hal ini mengindikasikan bahwa tidak semua 41 kasus QLCS yang termasuk bagian linier MCS dapat menimbulkan petir (CG) atau *thunderstorms*.

4. Kesimpulan

Pola sebaran temporal, keseluruhan QLCS pada saat fase matang di Makassar pada periode Desember 2018 – Mei 2019 paling banyak terdapat pada waktu malam hari / *evening* yang terjadi pada pukul 18.00-23.59 *local time*. Dalam penelitian ini tidak terdapat QLCS di cakupan radar cuaca Makassar yang bertahan lebih dari 90 menit. Pola QLCS tidak dapat bertahan lebih dari 120 menit dan juga sesuai dengan penelitian Lombardo dan Colle (2012) bahwa tidak ada QLCS yang bertahan lebih dari 6 jam. Secara spasial, keseluruhan QLCS di Makassar pada periode Desember 2018 – Mei 2019 paling banyak terinisiasi di wilayah *coastal ocean* (CO) sebanyak 75%. Wilayah lautan (CO) sekitar Makassar merupakan tempat yang baik untuk inisiasi dan perkembangan QLCS. QLCS mendapatkan cukup energi dan inti kondensasi untuk berkembang menjadi matang. Penelitian tentang QLCS di Makassar juga sesuai dengan penelitian Lombardo dan Colle [4] yang menemukan sebuah terminologi baru klasifikasi *Mesoscale Convective Systems* tipe β dari Orlanski [19] suatu sistem konvektif linier yang memiliki masa hidup tidak lebih dari 6 jam dan memiliki panjang sel minimal 25-250 km.

Kejadian QLCS di cakupan radar cuaca Makassar memiliki arah propagasi terbanyak ke arah timur-tenggara sebanyak 47% yang berbanding lurus dengan aktifnya angin monsun dari Asia pada bulan Desember - Januari - Februari (DJF) dan Maret - April - Mei (MAM) yang membawa massa udara basah dari Asia yang memasuki wilayah Indonesia. Adapun, kecepatan propagasi sel QLCS didominasi oleh *slow moving* sebesar 47%. Profil angin VWS yang disebabkan QLCS di Makassar ditemukan bahwa 3 dari 4 jenis pembentukan kecepatan VWS maksimum selalu ketika fase matang dan menurun ketika fase purnah.

Dampak dari QLCS yang dikaitkan dengan kejadian petir *Cloud to Ground* (CG), bahwa dari 32 kasus QLCS yang dapat menimbulkan terjadinya petir (CG) hanya 10 kasus (31.25%) dan 22 kasus (68.75%) tidak terdeteksi adanya kejadian petir (CG). Hal ini mengindikasikan bahwa tidak semua kasus QLCS yang termasuk bagian linier MCS dapat menimbulkan petir atau *thunderstorms* seperti yang diteliti oleh Houze [1].

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Sub Bidang Pusat Pengelolaan Citra Radar Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) selaku penyedia data radar cuaca Makassar dan kepada Stasiun Geofisika Gowa selaku penyedia data petir (CG) sehingga penelitian ini dapat dilakukan. Terima kasih juga diucapkan kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) yang telah memberikan dukungan berupa akses referensi skripsi dalam proses penelitian ini serta terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang menyediakan peta dasar pada situsny sehingga bisa dimanfaatkan dalam pembuatan peta lokasi penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Houze, Jr. R. A. (2004). Mesoscale Convective Systems. *Rev. Geophys.*, 42, 1– 43.
- [2] Ali, A., Hidayah, T., & Adriyanto, R. (2016). Low Level Wind Profile Analysis Associated to The Formation of Quasi-Linear Convective System in Indonesia. *ERAD*.
- [3] Maddox, R. A. (1980). Mesoscale Convective Complexes, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61 (11), 1374–1387.
- [4] Lombardo, K. A. & Colle, B. A. (2012). Ambient Conditions Associated with the Maintenance and Decay of Quasi-Linear Convective System Crossing the Northeastern U.S. Coast. *Mon. Weather Rev.*, 140, 3805-3819.
- [5] Binau, S. & Baumgardt, D. A. (2005). Storm Mode Evolution From A Quasi Linear Convective System To A Discrete Tornadoic Supercell During The Historic Wisconsin Tornado Outbreak Of 18 August 2005. *National Weather Service*, 19(2).
- [6] SELEX. (2013) *Software Manual Rainbow 5 Product & Algorithms*, SELEX SIGmbH, Germany.
- [7] Mahale, V. N., Brotzge, J. A., & Bluestein, H. B. (2012). An Analysis of Vortices Embedded within a Quasi-Linear Convective System Using X-Band Polarimetric Radar. *American Meteorological Society*, 27, 1521-1537.
- [8] Akhirta, N. (2018). Karakteristik Quasi-Linear Convective System di Kawasan Tropis Berbasis Radar Cuaca C-Band Di Maumere, Surabaya, Dan Pangkalan Bun. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2nd *International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences*.
- [9] Williams, B. M. & Carey, L. D. (2015). Assessing The Utility Of Total Lightning And The Lightning Jump To Assist In The QLCS Tornado Warning Decision Process. Alabama: *Department of Atmospheric Science*.
- [10] Tjasyono, B.H.K. (2012). *Mikrofisika Awan dan Hujan*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- [11] Geitz, W. C., & Jack, M. (1992). Application of Lightning Detection and Warning Systems Within the Explosives and Blasting Environment. *Proceeding of Explosives Safety Seminar, 18 – 20 Agustus 1992*, 2, 161-172.
- [12] Wirjohamidjojo, S., & Swarinoto, Y. (2010). *Iklim Kawasan Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [13] Husni, M. (2012). *Magnet Bumi dan Listrik Udara*. Tangerang Selatan: Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [14] Bluestein, H. B., Marx, G. T., & Jain, M. H. (1987). Formation of Mesoscale Lines of Precipitation: Nonsevere Squall Lines in Oklahoma during the Spring. *Monthly Weather Review*, 115(11), 2719–2727.
- [15] Barnes, G. M. & Sieckman, K. (1984). The Environment of Fast and Slow Moving Tropical Mesoscale Convective Cloud Lines. *Mon. Weather Rev.*, 112(9), 1782–1794.
- [16] COMET. (2013) *Principles of Convection III: Shear and Convective Storms*, Retrieved from <http://www.meted.ucar.edu/mesoprim/shear/>
- [17] Astuti, F.N., Siregar, M.A.R., Kesaulya, E.C., Nugraheni, I.R., & Deranadyan G. (2019). Identifikasi Karakteristik Quasi Linear Convective System di Kawasan Bengkulu pada Oktober sampai Desember 2017 berbasis Citra Radar Cuaca. *Seminar Nasional GEOTIK 2019*.
- [18] Anderson, J., Choglin, L., & Novakovskaia, E. (2011). *Total Lightning and Radar Reflectivity*. Germantown, Maryland, USA: Stan Heckman Earth Networks.
- [19] Orlandi, I. (1975). A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes, *Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 56 (5): 527-530.

PERBANDINGAN MODEL PREDIKSI RADIASI MATAHARI BERBASIS MESIN PEMBELAJARAN PADA STASIUN METEOROLOGI FATMAWATI SOEKARNO BENGKULU

COMPARISON OF SOLAR RADIATION PREDICTION MODELS BASED ON MACHINE LEARNING AT METEOROLOGICAL STATION OF FATMAWATI SOEKARNO BENGKULU

Dodi Ardiansyah¹, Diah Novita Astuti²

¹Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno Bengkulu
Jl. Depati Payung Negara Kel. Pekan Sabtu Kec. Selebar Bengkulu, 38213
*Email : ardidodi80@gmail.com

²Stasiun Meteorologi Klas I Juanda Sidoarjo
Jl. Raya Bandara Juanda, Pranti, Kec. Sedati, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61253
*Email : novita_ayu@ymail.com

Naskah masuk: 15 Februari 2023 Naskah diperbaiki: 14 Maret 2023 Naskah diterima: 14 April 2023

ABSTRAK

Radiasi matahari adalah sumber energi terbesar dan memiliki peran dalam keseimbangan radiasi permukaan, siklus hidrologi, fotosintesis vegetasi, cuaca dan iklim. Sangat penting untuk menganalisis radiasi matahari dalam berbagai keperluan. Makalah ini bertujuan untuk mempelajari dan mengevaluasi kelayakan metode-metode didalam mesin learning dalam membuat prediksi radiasi matahari. Parameter Tekanan Udara, Temperatur Udara, Dew Point, Kelembaban Udara yang diukur bersama dengan Radiasi Matahari digunakan untuk membuat prediksi. Tiga metode yang di gunakan dalam makalah ini yaitu Linear Regression (LR), Random Forest Regressor (RFR), dan Decision Tree Regressor (DTR). Untuk menentukan kinerja hasil prediksi dilakukan evaluasi dengan tiga matrik statistic yaitu Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE) dan R-Squared (R^2). Hasil Prediksi menunjukkan bahwa metode Random Forest Regressor memberikan nilai prediksi yang paling baik dari dua metode lainnya yang dicoba dengan nilai MAE 51,4 nilai RMSE 106,0 dan R^2 0,87.

Kata Kunci : Linear Regression, Random Forest Regressor, Decision Tree Regressor, Root Mean Squared Error, R-Squared

ABSTRACT

Solar radiation is the biggest energy source of the earth and has a role in the balance of surface radiation, the hydrological cycle, photosynthesis of vegetation, weather and climate. Crucial to analyze of solar radiation in various purposes. This paper aims to study and evaluate a appropriateness of methods in a machine learning for predictions of solar radiation. Parameters of Air Pressure, Air Temperature, Dew Point, Air Humidity which measured along with Solar Radiation are used to make predictions. The three methods used in this paper are Linear Regression (LR), Random Forest Regressor (RFR), and Decision Tree Regressor (DTR). To determine the performance of the prediction results, three statistical matrices were evaluated, it is Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE) and R-Squared (R^2). Prediction results show that the Random Forest Regressor method provides the best predictive value of the other two methods have tried with an MAE value of 51.4, RMSE 106.0 and R^2 0.87.

Keywords : Linear Regression, Random Forest Regressor, Decision Tree Regressor, Root Mean Squared Error, R-Squared

1. Pendahuluan

Matahari mempunyai peranan penting dalam kehidupan di bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Energi matahari dihantarkan ke ruang angkasa dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang memiliki kecepatan sangat tinggi yaitu 3×10^8 m/s dan dapat melewati ruang hampa. Dalam peranannya sebagai solusi energi terbarukan yang layak dalam menggantikan sumber daya saat ini terutama sumber daya listrik, keberadaan data radiasi matahari sangat signifikan digunakan diberbagai sektor seperti dalam konversi dan pembangkitan energi dari sinar matahari, pemanas air, penyulingan air dan meteorologi [1]. Radiasi Matahari sendiri merupakan pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Intensitas radiasi Matahari yang diterima Bumi (intensitas insolasi) bergantung pada lintang atau letak suatu tempat di permukaan bumi [2].

Insolasi biasanya dinyatakan dalam satuan Watt/m²-detik yang mengandung makna intensitas atau kekuatan. Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari hal ini di karenakan Indonesia terletak pada garis khatulistiwa [3]. Memahami perilaku radiasi matahari di suatu wilayah sangatlah penting sebagai optimalisasi penggunaan energi matahari. Prediksi radiasi matahari yang akurat sangatlah penting dalam perspektif operasional. Dalam beberapa model prediksi, karakteristik unsur meteorologi dijadikan acuan sebagai estimasi luminositas matahari dan radiasi matahari, dimana suhu udara mempunyai korelasi tertinggi [4].

Banyak studi dalam beberapa literatur yang mengeksplor prediksi data radiasi matahari menggunakan beberapa tehnik seperti prediksi radiasi matahari setiap jam dengan algoritma mesin learning menggunakan metode Multilayer Feed-Forward Neural Network (MFFNN), *K*-Nearest Neighbors (*K*-NN) dengan hasil model estimasi paling sukses yang dikembangkan adalah MFFNN [5]. Penggunaan teknik Artificial Neural Network lainnya dalam pemodelan dan prediksi radiasi matahari dilakukan untuk 4 kota di India yang mana hasilnya menunjukkan prediksi menggunakan jaringan syaraf tiruan lebih baik daripada model konvensional[6]. Penggunaan jaringan saraf tiruan yang mampu menafsirkan prediksi radiasi matahari yang efisien dengan akurasi kinerja yang baik menggunakan dua indikator statistik Mean Absolute Error (MAE) dan Mean Squared Error (MSE)[7]. Pengembangan sistem inferensi

neuro-fuzzy adaptif (ANFIS) menggunakan rata-rata suhu minimum bulanan, rata-rata suhu maksimum bulanan, durasi sinar matahari dan data meteorologi lainnya dinyatakan sangat efektif dan baik untuk estimasi radiasi matahari [8]. Penggunaan model machine learning diterapkan untuk menemukan hubungan dalam pengenalan pola dan masalah klasifikasi dimana tidak ada representasi antara input dan output, dalam masalah data mining dan prediksi [9]. Alasan lebih lanjut mengapa machine learning menjadi populer adalah bahwa mereka dapat merumuskan nonlinier data secara numerik, hanya berdasarkan data historis tanpa memerlukan pengetahuan tentang proses fisik yang mendasarinya [10]. Pada model machine learning terdapat metode supervised learning seperti pengklasifikasian, regresi linier, decision tree, random forest regressor [11, 12, 13].

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi prediksi radiasi matahari menggunakan pemodelan machine learning dengan metode linear regression, random forest regressor dan decision tree dengan menggunakan sampel data dari peralatan AWOS (Automated Weather Observing System) dua bulan dari time series harian yang kemudian diinterpretasikan secara matematis sebagai ekspektasi bersyarat untuk memilih model yang tepat.

2. Metode Penelitian

Data

Pada penelitian ini, data sampel yang digunakan adalah data time series per menit selama 2 bulan yaitu data temperature udara, dew point, kelembaban udara, tekanan udara, radiasi matahari. Parameter respon yang akan diprediksi adalah radiasi matahari. Data sampel tersebut di dapatkan dari hasil rekaman peralatan AWOS (Automatic Weather Observing System) pada Stasiun Meterologi Fatmawati Soekarno Bengkulu) selama 2 bulan yaitu Pebruari dan Maret 2018.

Metode

Regresi Linear

Regresi linear adalah analisa untuk mempelajari dan mengukur hubungan yang terjadi antara dua variabel atau lebih [14]. Regresi linear merupakan salah satu tehnik yang paling penting dan banyak di gunakan. Hal tersebut dikarenakan model regresi linear adalah model yang paling sederhana dan mudah untuk menginterpretasikan hasil. Penelitian ini menggunakan multiple linear regresi dengan persamaan multiple regresi :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p$$

Di mana :

Y = variable tak bebas

b_0 = Konstanta

$b_1 = b_2 = \dots = b_p$ = Koefisien regresi

$X_1 = X_2 = \dots = X_p$ = Variabel bebas

Di mana variabel prediksi yaitu radiasi matahari sebagai variabel dependen kemudian variable prediktor atau independennya yaitu temperature udara, dew point, tekanan udara dan kelembaban.

Decision Tree dan Random Forest Regressor

Metode *random Forest Regressor* adalah algoritma machine learning populer yang termasuk dalam teknik supervised learning[15]. Metode Random Forest merupakan salah satu metode dalam *Decision Tree*. Algoritma ini dapat digunakan untuk masalah klasifikasi dan regresi. *Decision tree* sendiri yaitu sebuah diagram alir yang berbentuk seperti pohon yang memiliki sebuah root node yang digunakan untuk mengumpulkan data, sebuah inner node yang berada pada root node yang berisi tentang pertanyaan tentang data dan sebuah leaf node yang digunakan untuk memecahkan masalah serta membuat keputusan [16]. Jika nilai respons pada node adalah y_1, \dots, y_n , kriteria pemisahan yang khas adalah rata-rata kuadrat pada node yang dinyatakan sebagai :

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2$$

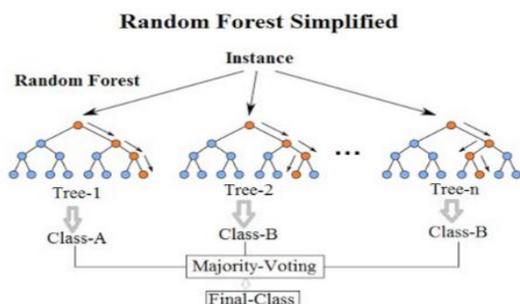
Dimana,

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

n = Jumlah data

y_i = Nilai respon

y = Merupakan nilai prediksi pada simpul (rata-rata nilai respons).



Data Set

Kualitas data sangatlah penting mengingat bisa saja terjadi kesalahan pada instrument peralatan observasi yang datanya digunakan untuk penelitian. Pembersihan data merupakan proses penting yang akan meningkatkan kualitas data mentah yang akan diteliti . Pada bagian ini kumpulan data yang diambil dan digunakan terlebih dahulu dicari yang mempunyai nilai NULL ataupun error kemudian menghapusnya. Periode waktu data yang digunakan tanggal 1 Pebruari sampai dengan 31 maret 2018. Untuk lebih mudah melihat distribusi data maka divisualisasikan dalam bentuk grafik distribusi dan box plot.

Seleksi Variabel

Pemilihan variable dalam membuat sebuah model sangatlah penting karena variable dapat mencerminkan karakteristik populasi yang akan diteliti. Dari data set yang tersedia diperlukan seleksi variable yang digunakan sebagai variable dependent dan independent. Variabel dependent adalah variabel yang disebabkan/ dipengaruhi oleh adanya variabel bebas/variabel independent dalam hal ini radiasi matahari merupakan variable dependent atau target prediksi. Sedangkan variable independent adalah variable bebas yang mempengaruhi perubahan pada variable dependent atau disebut juga sebagai prediktor, data temperatur udara, dew point, kelembaban udara, tekanan udara digunakan sebagai variable independent. Dari data variabel yang coba diujikan, terlihat korelasi terkuat adalah variable radiasi matahari dan variabel temperature udara sebesar 0.83.

Evaluasi Model

Pertama, membandingkan data radiasi matahari dengan data temperatur udara, dew point, kelembaban udara, tekanan udara. Memplot grafik untuk membantu memahami & memvisualisasikan bagaimana tepatnya kumpulan data yang tersedia. Dalam suatu model tidak ada kriteria khusus yang di gunakan untuk melihat evaluasi kinerja sebuah model. Untuk memaksimalkan kinerja model, meminimalkan fungsi kerugian yang telah ditentukan sebelumnya dan menghasilkan hasil yang lebih baik dengan lebih sedikit kesalahan digunakan tuning hyperparameter. Kinerja dari suatu model dapat di lihat dengan memplot estimasi time series pada real time series [17]. Evaluasi model bertujuan untuk menilai sejauh mana kemampuan penafsiran dapat di percaya. Ada beberapa indikator dan metode yang dapat

digunakan untuk mengevaluasi model secara statistik[16]. Hasil dari model dapat dievaluasi nilai errornya dengan menggunakan matrik statistik yaitu MAE (Mean Absolute Error) dan RMSE (Root Mean Squared Error) yang diperlukan untuk melihat kinerja sebuah model dimana semakin dekat nilainya dengan 0 maka semakin baik hasil prediksinya. Begitu juga dengan R^2 jika nilainya mendekati 1 maka hasil prediksi dan observasi berhubungan erat. MAE (Mean Absolute Error) adalah rata-rata selisih mutlak nilai sebenarnya (aktual) dengan nilai prediksi (peramalan). Dengan rumus :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x|$$

n = Jumlah data
 xi = Nilai data aktual
 x = Nilai data prediksi

RMSE (Root Mean Squared Error) adalah jumlah dari kesalahan kuadrat atau selisih antara nilai sebenarnya dengan nilai prediksi yang telah ditentukan. Dengan rumus :

$$RMSE = \sqrt{\frac{(y' - y)^2}{n}}$$

n = Jumlah data
 y' = Nilai data prediksi
 y = Nilai data aktual

R square merupakan suatu nilai yang memperlihatkan seberapa besar variabel independen (eksogen) mempengaruhi variabel dependen (endogen). Dengan rumus :

$$R^2 = 1 - \frac{SS\ Error}{SS\ Total} = 1 - \frac{\sum(y_i - y)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$$

SS Error = Nilai variasi dari residu
 SS Total = Nilai variasi total
 yi = Observasi respon ke-i
 y = Rata – rata
 yj = Prediksi respon ke-i

3. Hasil dan Pembahasan

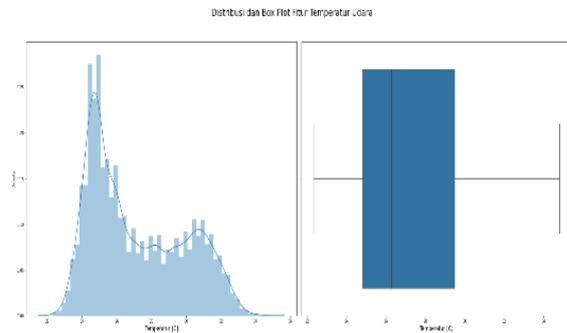
Analisis Data

Nilai maksimum, minimum, mean dan standar deviasi untuk variabel temperatur udara, dew point, tekanan udara, kelembaban, radiasi matahari dapat dilihat pada tabel 1. Untuk data yang digunakan merupakan data permenit.

Parameter	Maks	Min	Mean	Sdv
Temperatur	34.83	22.33	27.13	2.70
Dew Point	27.17	18.11	24.04	0.94
Tek Udara	1015.08	1004.29	1009.2	1.78
Kelembaban	100.00	41.10	84.11	12.38
Radiasi	1263.92	0	197.83	296.12

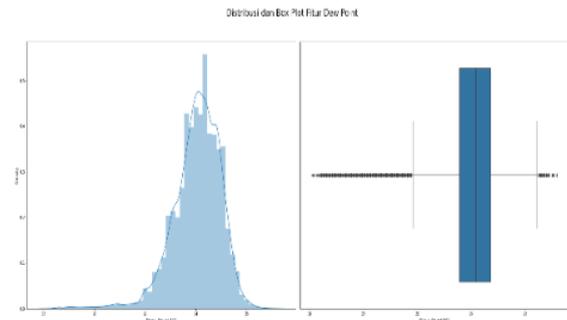
Tabel 1. Deskripsi statistik data

Dari sampel data ditabel terlihat range suhu udara dari 22.44 °C sampai dengan 34.83 °C rata-rata suhu udara 29.12 °C dengan standar deviasi 2.43. Nilai titik embun minimum 18.11 °C sampai 27.17 °C rata-rata titik embun 24.05 dengan standar deviasi 1.06. Tekanan udara mempunyai variasi 1004.29 mb sampai 1015.08 mb dengan rata-rata 1008.9 dan standar deviasinya 1.93. Kelembaban udara mempunyai nilai 41% sampai 100% dengan rata-rata 74.82 dan standar deviasi 11.29. Sedangkan untuk radiasi matahari maksimum mempunyai nilai 1263.92 w/m² nilai terkecil radiasi matahari 1.29 w/m² nilai rata-rata 417.22 dan standar deviasi sebesar 305.61.



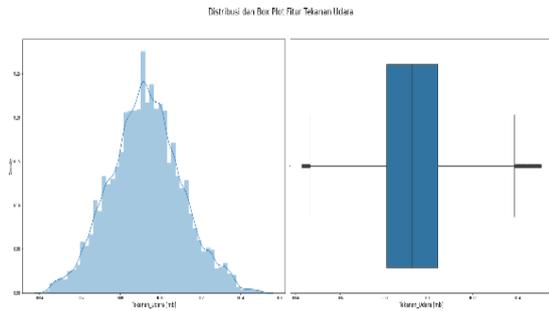
Gambar 1. Density plot dan box plot temperatur udara

Pada gambar terlihat temperatur udara berkisar 22°C sampai 34°C, dilihat dari density temperature udara lebih banyak terjadi pada suhu berkisar 25°C.



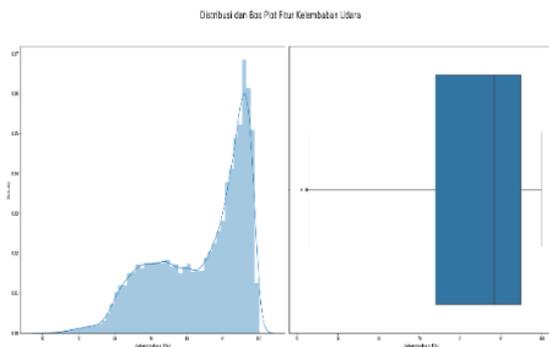
Gambar 2. Density plot dan box plot titik embun

Dari hasil plotting terlihat distribusi titik embun berkisar 18°C hingga 27°C. Suhu titik embun berdasarkan density lebih sering terjadi pada suhu 24°C hingga 25°C.



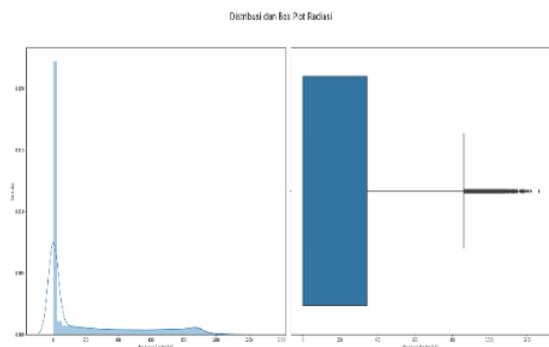
Gambar 3. Density plot dan box plot tekanan udara

Pada grafik terlihat tekanan udara yang terjadi berkisar 1004mb sampai dengan 1015mb. Dilihat dari density tekanan udara lebih sering terjadi berkisar 1009mb.



Gambar 4. Density plot dan box plot kelembaban udara

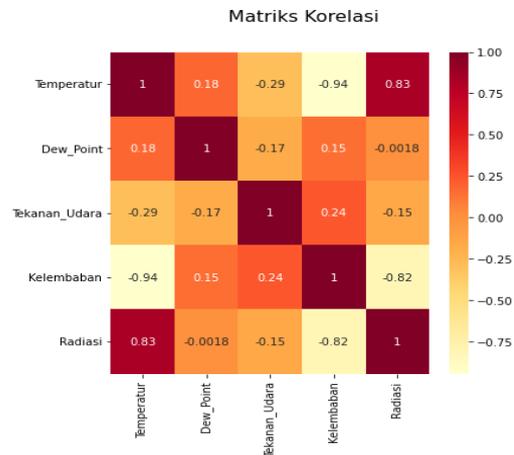
Berdasarkan gambar terlihat kelembaban yang terjadi berkisar 40-100 %. Dari nilai kepadatan terlihat kelembaban yang banyak terjadi berkisar 95% hingga 100%.



Gambar 5. Density plot dan box plot radiasi matahari

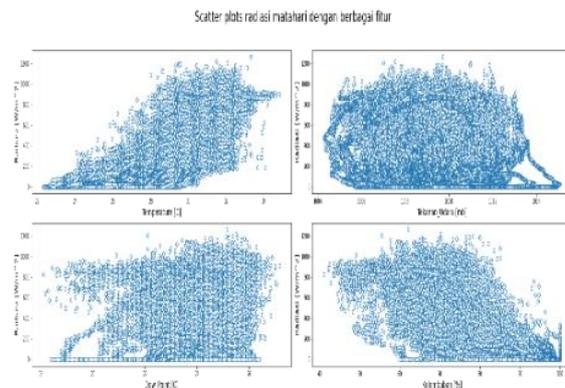
Berdasarkan gambar di atas untuk radiasi matahari terlihat radiasi terjadi mulai dari 0 hingga lebih dari 1000 w/m². Dari nilai

kepadatan radiasi terbanyak 0 w/m² hal ini dikarenakan pada malam hari tidak adanya radiasi matahari.



Gambar 6. Matriks korelasi fitur-fitur data

Matriks korelasi dari berbagai fitur menunjukkan nilai korelasi yang mempunyai hubungan lebih erat yaitu radiasi matahari dan fitur temperature udara. Hal tersebut di tunjukkan dengan besarnya nilai korelasi 0.83 yang mengindikasikan terdapat korelasi yang dekat antara radiasi dan temperatur udara.



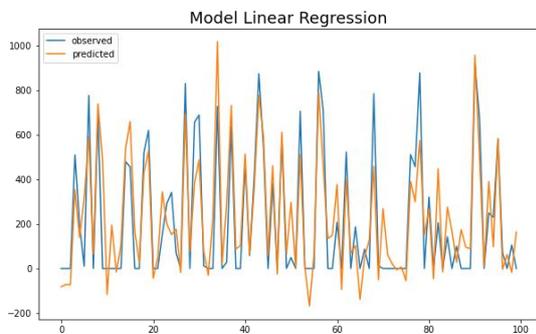
Gambar 7. Scatter plot radiasi matahari dengan berbagai fitur

Dari gambar scatter plot terlihat hanya fitur temperatur udara yang mempunyai hubungan linear baik terhadap radiasi matahari.

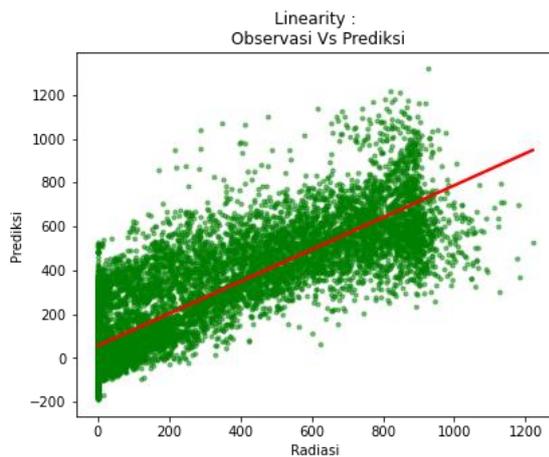
Pengujian Model

Pengujian model menggunakan python 3.7 dengan beberapa library seperti numpy, pandas, scipy, matplotlib, scikit-learn (sklearn). Model yang akan di evaluasi menggunakan model *Linear regression, Random Forest Regressor*

dan *Decision Tree Regressor*. Proses yang dilakukan yaitu dari data set yang tersedia diekstrak fitur-fitur penting dan mengurangi dimensi data dengan membuang data yang error atau data yang tidak mempunyai nilai. Data yang terkumpul dibagi secara acak 80% digunakan untuk pelatihan, 20% untuk pengujian dan validasi. Data pengujian tidak berpengaruh pada pelatihan. Hal ini dapat memberikan ukuran independen kinerja model selama dan setelah pelatihan. Kinerja model akan dievaluasi menggunakan matriks statistik berdasarkan beberapa indikator yaitu MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error), R Square. Dari model yang di hasilkan, nilai prediksi dibandingkan dengan nilai observasi aktual. Nilai prediksi radiasi matahari yang di hasilkan dengan menggunakan metode Linear Regression dapat dilihat pada gambar di bawah.



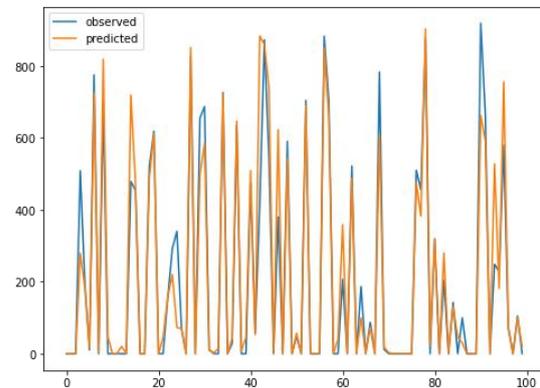
Gambar 8. Grafik Prediksi vs Observasi model linear regression



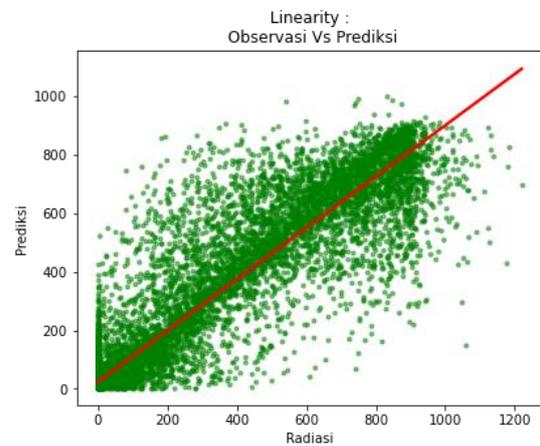
Gambar 9. Linearitas Prediksi vs Radiasi model linear regression

Hubungan antara nilai aktual dan nilai prediksi dengan grafik dari gambar 8 dan scatter plot dari gambar 9, mempunyai nilai MAE sebesar 110,5, nilai RMSE sebesar 154,8 dan R^2 mempunyai nilai 0,72. Prediksi radiasi matahari dengan

metode *random forest Regressor* dapat di lihat pada gambat di bawah.

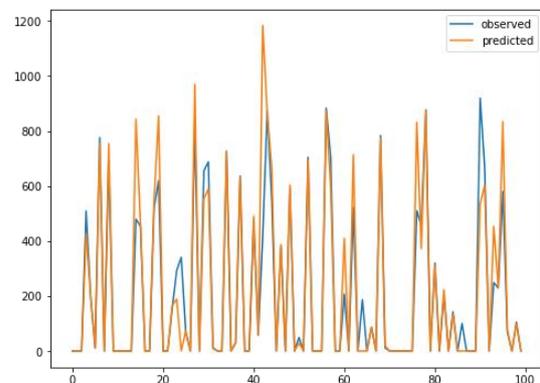


Gambar 10. Grafik Prediksi vs Observasi model random forest regressor

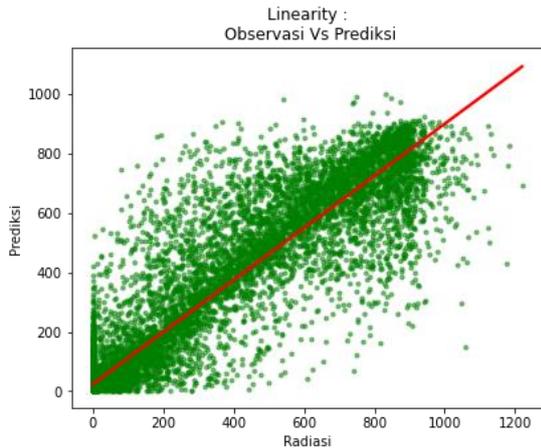


Gambar 11. Linearitas Prediksi vs Radiasi model random forest regressor

Dari gambar scatter plot dan grafik menggunakan metode random forest regressor di dapatkan hasil. Nilai MAE sebesar 51,4, nilai RMSE 106.0 dan nilai R^2 sebesar 0,87. Pengujian dengan metode *Decission Tree Regressor* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 12. Grafik Prediksi vs Observasi model decision tree regressor



Gambar 13. Linearitas Prediksi vs Radiasi model decision tree regressor

Untuk pengujian menggunakan metode decision tree regressor yang dapat dilihat grafik dan scatter plotnya. Didapat nilai MAE sebesar 60,7 nilai RMSE sebesar 143,9 dan R^2 sebesar 0,76.

4. Kesimpulan

Dari ketiga metode prediksi yang di coba, menunjukkan bahwa prediksi dengan menggunakan metode *Random Forest Regressor* merupakan prediksi yang terbaik. Dimana nilai R^2 menunjukkan nilai 0.87. Nilai MAE dari ketiga metode menunjukkan nilai MAE terkecil yaitu 51,4 yang dihasilkan dari metode random forest regressor. Kemudian untuk nilai RMSE terkecil 106.0 dari metode *random forest regressor*. Secara keseluruhan metode random forest regressor merupakan metode yang lebih baik dari metode lainnya yang di ujikan di ikuti dengan metode decision tree dan kemudian linear regression.

Daftar Pustaka

- [1]. Buncom, F. (2017). *The Rise of Solar Energy*. Diakses tanggal 23 Agustus 2022 dari <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/buncom1/>.
- [2]. Ramadhani, S, P. (2018). *Buku Bumi dan antariksa*. Depok, Jawa Barat : Yiesa Media Karya.
- [3]. Usvika, R. (2019). *Prospek Energi Surya dan Minihidro di Indonesia*. Di akses 24 Agustus 2022 dari <https://www.pupuk-indonesia.com/artikel/prospek-energi-surya-dan-mini-hidro-di-indonesia>.
- [4]. Eduardo et al (2020). Solar Radiation Prediction on Photovoltaic Systems Using Machine Learning Techniques. *Revista Facultad de Ingeniería.*, 29 (54). doi : 10.19053/01211129.v29.n54.2020.11751.
- [5]. Guher, A, B. Effective Estimation of Hourly Global Solar Radiation Using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Photoenergy*. Vol. 2020, Article ID 8843620, <https://doi.org/10.1155/2020/8843620>
- [6]. Priya, S (2015). Solar Radiation Prediction Using Artificial Neural Network. *International Journal of Computer Application*. Vol. 116 – No. 16.
- [7]. Rahman et al (2021). Prediction of Solar Radiation Using Artificial Neural Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 1767 012041. doi : 10.1088/1742-6596/1767/1/012041.
- [8]. Olatomiwa, L., Mekhilef, S., Shamshirband, S., & Petkovic, D. (2015). Adaptive neuro-fuzzy approach for solar radiation prediction in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51,1784-1791. doi : 10.1016/j.rser.2015.05.068.
- [9]. Voyant et al. (2017). Machine learning methods for solar radiation forecasting. *Renewable Energy*, 105, 569-582. doi : 10.1016/j.renene.2016.12.095.
- [10]. Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. (2018). Flood prediction using machine learning models. *MDPI*. 10(11), 1536. doi : 10.3390/w10111536.
- [11]. Huang et al (2021). Solar Radiation Prediction Using Different Machine Learning Algorithms and Implications for Extreme Climate Events. *Frontiers in Science 2021*, 9. doi : 10.3389/feart.2021.596860
- [12]. Priya, S. S., Iqbal, M. H. (2015). Solar Radiation Prediction using Artificial Neural Network. *International Journal of Computer Applications*, 116(16). doi : 10.5120/20422-2722.
- [13]. Rahman, S., Haque, B. (2020). Prediction of Solar Radiation Using Artificial Neural Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 1767 (012041). doi : 10.1088/1742-6596/1767/1/012041.
- [14]. Wahyono, T. (2018). *Buku python for machine learning*. Yogyakarta : Gava Media.
- [15]. Trivusi (2023). *Algoritma Random Forest: Pengertian dan Kegunaannya*. Diakses dari <https://www.trivusi.web.id/2022/08/algoritma-random-forest.html>.
- [16]. Universitas Gajah Mada (2022). *Machine Learning*. Diakses dari <https://machinelearning.mipa.ugm.ac.id/2018/07/28/random-forest/>.
- [17]. Zhou, J., Gandomi, A., Chen, F.,& Holzinger, A. (2021). Evaluating the Quality of Machine Learning Explanations. *MDPI journal Electronics*, 105, 569-582. doi : 10.1016/j.renene.2016.12.095.

SIMULASI DISPERSI PERBANDINGAN $PM_{2.5}$ SAAT HARI TANPA HUJAN (HTH) DAN HARI LIBUR TAHUN BARU (HLTB) DI SUMATERA BARAT DENGAN MODEL WEATHER RESEARCH AND FORECASTING CHEMISTRY (WRF-CHEM)

SIMULATION DISPERSION OF COMPARING $PM_{2.5}$ DURING RAINLESS DAYS AND NEW YEARS HOLIDAY IN WEST SUMATERA USING WRF-CHEM MODEL

Kiagus Ardi Zulistyawan^{1*}, Kharir Frestia Deastari², Dhiyaul Qalbi S², Raihan Falah³

^{1,2}Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia

³Stasiun Klimatologi Klas II Riau, Provinsi Riau, Indonesia

*E-mail: kiagus.ardi@bmkkg.go.id

Naskah masuk: 10 Januari 2023 Naskah diperbaiki: 14 Januari 2023 Naskah diterima: 18 Maret 2023

ABSTRAK

Indikator dalam menentukan kualitas udara salah satunya dengan melihat konsentrasi $PM_{2.5}$ di suatu wilayah. Konsentrasi $PM_{2.5}$ dapat disimulasikan dengan menggunakan model WRF-Chem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melihat dispersi $PM_{2.5}$ saat Hari Tanpa Hujan (HTH) dan Hari Libur Tahun Baru (HLTB) di Sumatera Barat dengan menggunakan WRF-Chem sebagai upaya preventif jika terjadi dampak negatif akibat kualitas udara yang buruk. Data yang digunakan yaitu *Final Data Analysis* (FNL) serta data observasi dari Stasiun Pemantau Atmosfer Bukit Kototabang. Hasil simulasi WRF-Chem pada saat HTH dan HLTB menunjukkan adanya pola sebaran konsentrasi $PM_{2.5}$ yang mirip. Konsentrasi $PM_{2.5}$ di pagi hingga siang hari memiliki konsentrasi yang tinggi pada wilayah yang menjadi sumber $PM_{2.5}$. Namun, pada sore hingga malam hari menjelang pagi, konsentrasi tersebut menyebar ke wilayah lain. Konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan rentang 20 – 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lebih dominan terjadi ketika HLTB. Simulasi WRF-Chem juga di validasi dengan data observasi yang menghasilkan nilai konsentrasi $PM_{2.5}$ masih berada di bawah BMUN (berarti aman) dan nilai *r*, RMSE, serta MAE berturut-turut sebesar 0,48; 4,09; 1,19 (HTH) dan 0,56; 10,02; 6,40 (HLTB).

Kata kunci: WRF-Chem, $PM_{2.5}$, HTH, HLTB

ABSTRACT

*One of the indicators in determining air quality is looking at the concentration of $PM_{2.5}$ in an area. $PM_{2.5}$ concentration can be simulated using the WRF-Chem model. Therefore, this study aims to look at the dispersion of $PM_{2.5}$ during Rainless Days and New Year's Holidays in West Sumatra by using WRF-Chem as a preventive measure if there is a negative impact due to poor air quality. The data used are Final Data Analysis (FNL) and observational data from the Kototabang Hill Atmospheric Monitoring Station. WRF-Chem simulation results on Rainless Days and New Year's Holidays show a similar distribution pattern of $PM_{2.5}$ concentrations. $PM_{2.5}$ concentrations in the morning to noon have high concentrations in areas that are sources of $PM_{2.5}$. However, the attention spread to other sites from the afternoon until late morning. $PM_{2.5}$ concentrations ranging from 20 – 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dominate during New Year's Holidays. The WRF-Chem simulation was also validated with observational data, which resulted in a $PM_{2.5}$ concentration value still below the BMUN (meaning it was safe), and the *r*, RMSE, and MAE values were 0.48, 4.09, 1.19 (Rainless Days) and 0.56; 10.02; 6.40 (New Years Holiday).*

Keywords: WRF-Chem, $PM_{2.5}$, Rainless Days, New Years Holiday

1. Pendahuluan

Kualitas udara yang baik dapat menentukan aktivitas di luar ruangan agar terasa nyaman. Salah satu indikator dalam menentukan kualitas udara dengan adanya kandungan *Particulate Matter* (PM_{2.5}) [1]. PM_{2.5} merupakan partikel dengan diameter berukuran kurang dari 2.5, jika terhirup dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan gangguan pernapasan seperti inspeksi saluran pernafasan (ISPA), kanker paru-paru, kardiovaskular, hingga kematian dini [1]. Selain dibidang kesehatan, tingginya konsentrasi PM_{2.5} berdampak juga dibidang ekonomi, sosial budaya, dan pendidikan [2].

Sumber PM_{2.5} biasanya dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, residu kendaraan, kebakaran hutan, dan sebagainya [3, 4]. Oleh karena itu, Pemerintah telah menetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, bahwa batasan baku mutu udara nasional (BMUN) untuk PM_{2.5} selama rata-rata 24 jam sebesar 65 µg/m³.

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang dijadikan sebagai tempat tujuan untuk berlibur di tahun baru bagi wilayah yang berada disekitarnya. Seperti Provinsi Riau, Jambi, Palembang, dan Sumatera Utara. Diseminasi informasi kualitas udara di wilayah Sumatra Barat menggunakan data observasi stasiun GAW Bukit Kototabang, data from *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF), dan dari hasil pemodelan dengan *Weather Research and Forecasting-Chemistry* (WRF-Chem). Sehingga, wilayah Sumatra Barat menjadi fokus lokasi penelitian dan waktu yang digunakan selama HTH dan HLTB. Oleh karena itu, informasi terkait PM_{2.5} sangat penting untuk mengetahui informasi terkait kualitas udara agar dalam kondisi nyaman dan aman saat berada di luar ruangan.

Salah satu cara untuk mengetahui kualitas udara dapat menggunakan model *Weather Research and Forecasting – Chemistry* (WRF-Chem). WRF-Chem dapat digunakan untuk mensimulasikan kondisi atmosfer saat terjadi kebakaran hutan, gunung meletus, tingkat polusi udara yang tinggi, dan dapat dikaitkan dengan faktor-faktor meteorologi [5-7]. Penggunaan WRF-Chem telah dilakukan untuk simulasi dan prediksi terkait parameter kualitas udara seperti PM_{2.5} disuatu wilayah [8]. Simulasi PM_{2.5} menggunakan Model WRF-Chem telah dilakukan di Jakarta saat kondisi polusi udara yang tinggi dan menghasilkan nilai korelasi 0.27 saat divalidasi dengan data observasi. [9].

Pemodelan sebaran PM_{2.5} juga telah dilakukan di Jakarta dengan model WRF-Chem untuk mengkaji hasil keakuratan model saat periode polusi udara tinggi yang hasilnya cukup memuaskan saat divalidasi dengan data observasi [10]. Penelitian tentang simulasi konsentrasi PM_{2.5} dengan WRF-Chem di Sumatera Barat belum pernah dilakukan, Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi perbandingan sebaran PM_{2.5} di Sumatera Barat saat Hari Tanpa Hujan (HTH) dan Hari Libur Tahun Baru (HLTB) dengan model WRF-Chem untuk mengetahui kondisi kualitas udara sebagai upaya preventif jika terjadi dampak negatif akibat kualitas udara yang buruk.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan Final Data Analysis (FNL) dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP) sebagai masukan untuk proses model. Resolusi data FNL 0.25° x 0.25°. Kemudian, akan menggunakan data observasi PM_{2.5} dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang pada tanggal 13 Juni 2022 (HTH) dan 1 Januari 2023 (HLTB) dengan skala waktu tiap jam sebagai data validasi hasil model luaran WRF-Chem.

Lokasi penelitian yaitu di wilayah Provinsi Sumatra Barat dengan letak geografis 0° 54' LU and 3° 30' LS serta 98° 36' 05" dan 101° 53' Bujur Timur. Titik Lokasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang yang digunakan untuk validasi hasil luaran model berada pada koordinat -1° 47' 51.41" LS dan 100° 19' 38.45" BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pada penerapannya, model WRF-Chem harus menggunakan masukan konfigurasi parameterisasi untuk menghasilkan model yang akurat saat prediksi maupun simulasi. Berikut ini Konfigurasi Parameterisasi yang digunakan untuk simulasi disperse PM_{2.5} di Sumatera Barat yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Parameterisasi

3. Hasil dan Pembahasan

No	Fase Gas	Konfigurasi Parameterisasi
1	Shortwave Radiation	RRTMG
2	Longwave Radiation	RRTMG
3	Land-Surface	Noah-LSM
4	Microphysics	Morrison
5	Cumulus	New Grell
	Parameterization	
6	Aerosol Mechanism	MADE/SORGAM
7	Gas Phase	GOCART
	Chemistry	
	Planetary Boundary Layer	YSU

Penelitian ini menggunakan model *Weather Research and Forecasting – Chemistry* (WRF-Chem) untuk dilakukan simulasi saat kondisi HTH dan HLTB. Post processing data luaran model menggunakan GrADS. Kemudian, data hasil luaran model akan divalidasi menggunakan metode Korelasi Pearson, *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Error* (MAE), yang perhitungannya sebagai berikut.

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \tag{1}$$

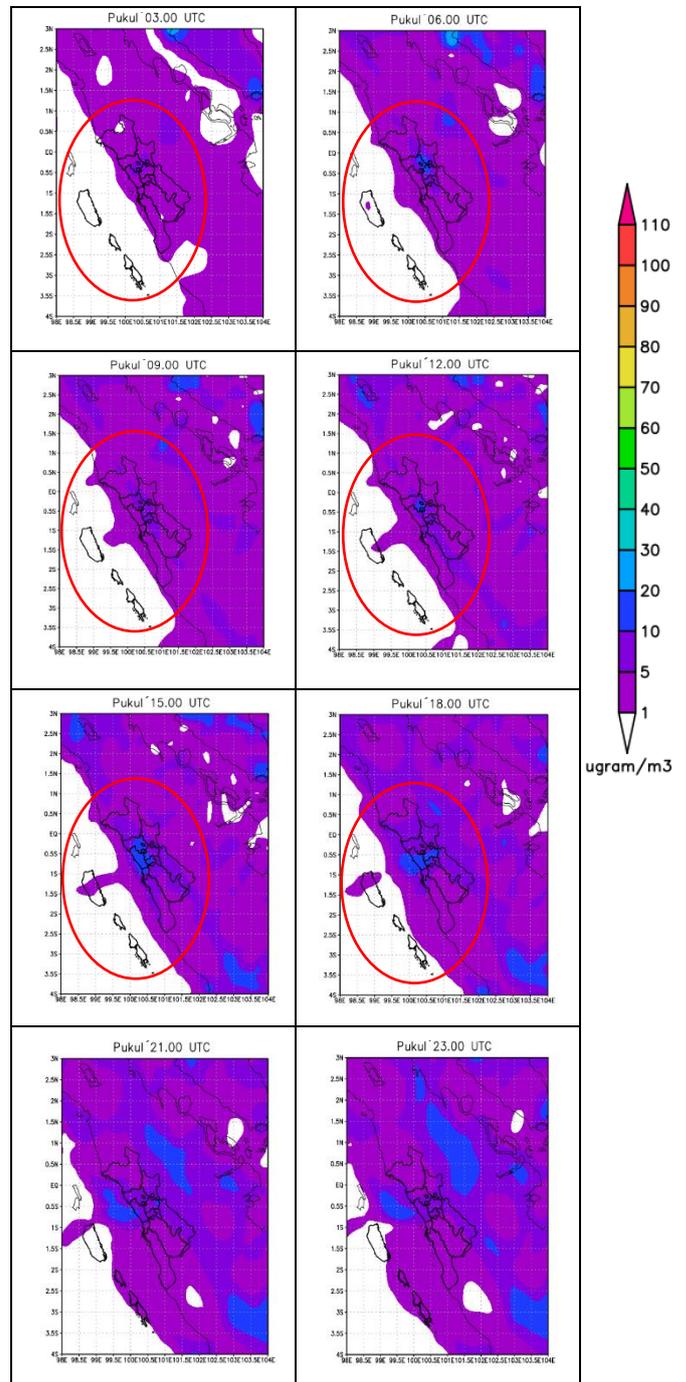
Dimana, r_{xy} = Korelasi Pearson, x = $PM_{2.5}$ luaran WRF-Chem, y = $PM_{2.5}$ data observasi dari GAW Bukit Kototabang Station, n = Jumlah data. Korelasi pearson mampu melihat keeratan hubungan dari dua variabel [11]. Nilai korelasi pearson berkisar antara -1 hingga +1 dengan nilai yang mendekati 1 berarti semakin kuat dan 0 berarti tidak memiliki hubungan [12].

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_1^n |x - y| \tag{2}$$

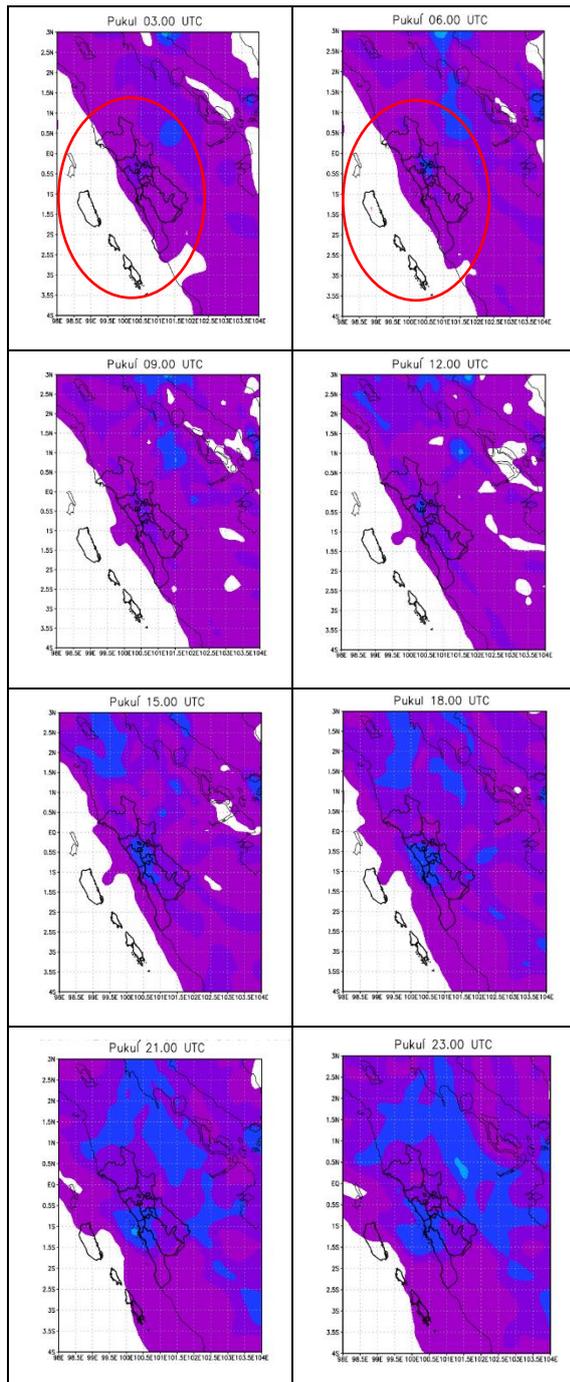
$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_1^n (x - y)^2 \tag{3}$$

Mean Absolute Error (MAE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang keduanya dapat digunakan untuk mengetahui jumlah error yang terjadi pada data model [3]. MAE menghitung seluruh error dengan memberikan bobot yang sama pada semua nilai dan nilainya lebih kecil, sedangkan untuk RMSE memberikan nilai pada error yang lebih besar [13]. Rumus perhitungan untuk MAE dan RMSE sebagai berikut dengan nilai x dan y didefinisikan sama pada keterangan simbol di korelasi pearson.

HTH (13 Juni 2022)



Gambar 2. Simulasi Sebaran $PM_{2.5}$ (Pukul 03.00 UTC – 23.00 UTC) saat HTH hasil luaran model WRF-Chem (sumber : data FNL NCEP)

HLTB (1 Januari 2023)

Gambar 3. Simulasi sebaran PM_{2.5} (Pukul 03.00 UTC – 23.00 UTC) saat HLTB hasil luaran model WRF-Chem (sumber : data FNL NCEP)

Simulasi sebaran PM_{2.5} luaran WRF-Chem pada tanggal 13 Juni 2022 (HTH) direpresentasikan pada Gambar 2. Pada pukul 03.00 UTC, konsentrasi PM_{2.5} di wilayah Sumatera Barat memiliki rentang berkisar antara 1 – 30 µg/m³. Rentang konsentrasi PM_{2.5} tertinggi pada 06.00 UTC, berada pada bagian tengah wilayah Sumatera Barat. Setelah 3 jam, rentang konsentrasi di wilayah tersebut

mengalami kenaikan dengan kisaran rentangnya sebesar 20 – 30 µg/m³. Pada pukul 12.00 UTC konsentrasi PM_{2.5} dengan rentang sebesar 20 – 30 µg/m³, muncul kembali di bagian tengah wilayah Sumatera Barat setelah sebelumnya hilang. Rentang konsentrasi tersebut, semakin melebar ke wilayah lainnya dan bergerak ke arah barat daya hingga pukul 23.00 UTC. Konsentrasi PM_{2.5} yang bernilai 20 – 30 µg/m³ cenderung terjadi di wilayah pusat Sumatera Barat, seperti Kota Padang, Bukittinggi, Agam, Solok, dan Tanah Datar.

Hasil simulasi PM_{2.5} luaran WRF-Chem pada tanggal 1 Januari 2023 (HLTB) ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada pukul 03.00 UTC konsentrasi PM_{2.5} memiliki rentang nilai 1 – 20 µg/m³. Sebaran konsentrasi PM_{2.5} yang cukup tinggi (20 – 30 µg/m³) di siang hari (06.00 UTC) dan turun di sore hari (09.00 UTC – 12.00 UTC). Tidak berbeda jauh dengan kondisi HTH, konsentrasi PM_{2.5} dengan nilai 20 – 30 µg/m³ mulai menyebar dari sore hingga malam hari dan sampai menjelang pagi hari (15.00 UTC – 23.00 UTC). Cakupan wilayah dengan konsentrasi tersebut masih berada di sekitar Kota Padang, Bukittinggi, Agam, Solok, dan Tanah Datar.

Konsentrasi yang cukup tinggi mulai muncul pada siang hari karena volume kendaraan dan aktivitas penduduk yang padat pada waktu tersebut [14, 15]. Selain itu juga, pada saat siang hari matahari cenderung lebih banyak memancarkan sinarnya, sehingga reaksi kimia yang terjadi di atmosfer lebih cepat dalam membantu akumulasi konsentrasi PM_{2.5} [16]. Hal tersebut menyebabkan konsentrasi PM_{2.5} yang cukup tinggi tidak terlalu menyebar dan hanya berfokus di wilayah sumber PM_{2.5}. Namun, pada sore hingga malam hari menjelang pagi hari, polutan PM_{2.5} dengan konsentrasi cukup tinggi cenderung terlihat banyak yang menyebar [17].

Pada pagi hingga siang hari, kondisi atmosfer tidak stabil, sehingga terjadi penghilangan polutan dan massa udara di permukaan. Sedangkan pada malam hari, kondisi atmosfer cenderung stabil dan terjadi penurunan massa udara seiring dengan polutan ke permukaan sehingga polutan PM_{2.5} pada malam hari lebih menyebar di permukaan daripada di pagi dan siang hari [18].

Perbandingan hasil simulasi luaran model WRF-Chem berdasarkan Gambar 2 (HTH) dan Gambar 3 (HLTB) memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Namun, terlihat konsentrasi PM_{2.5} dengan rentang nilai 20 – 30 µg/m³ lebih dominan terjadi di HLTB. Hal ini disebabkan oleh jumlah penduduk yang lebih banyak beraktivitas di luar ruangan dan berada di wilayah Sumatera Barat karena bertepatan dengan hari libur. Sehingga, menghasilkan polutan PM_{2.5} yang lebih banyak dari biasanya.

Perbandingan Konsentrasi PM_{2.5} hasil Luaran Model WRF-Chem dan Observasi dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang



Gambar 4. Grafik nilai PM_{2.5} hasil luaran model WRF-Chem dengan data observasi pada tanggal 13 Juni 2022 (Atas) dan Tanggal 1 Januari 2023 (Bawah)

Grafik konsentrasi PM_{2.5} saat HTH (13 Juni 2022) hasil luaran model WRF-Chem dan data observasi memiliki pola yang sama yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Namun, nilai luaran model *overestimated* dari data observasi. Nilai Konsentrasi PM_{2.5} tertinggi dari hasil luaran model WRF-Chem terjadi pada pukul 14.00 UTC sebesar 12,4 µg/m³. Kemudian, untuk nilai konsentrasi PM_{2.5} tertinggi dari data observasi sebesar 8,7 µg/m³ yang terjadi pada pukul 08.00 UTC.

Nilai minimum konsentrasi PM_{2.5} luaran WRF-Chem sebesar 2,2 µg/m³ terjadi dipukul 01.00 UTC, dan untuk data observasi terjadi di pukul 02.00 UTC sebesar 1,0 µg/m³. Rata-rata nilai Konsentrasi PM_{2.5} selama HTH dari data observasi sebesar 3,5 µg/m³ dan dari luaran WRF-Chem sebesar 7,6 µg/m³.

Perbandingan data konsentrasi PM_{2.5} saat HLTB dari luaran WRF-Chem hasilnya *underestimated* dari data observasi. Secara umum, grafik Nilai konsentrasi PM_{2.5} dari luaran WRF-Chem dan data observasi tidak memiliki

pola yang sama. Nilai rata-rata konsentrasi PM_{2.5} dari data observasi 9,3 µg/m³ dan konsentrasi PM_{2.5} dari luaran WRF-Chem 2,9 µg/m³.

Nilai konsentrasi PM_{2.5} tertinggi dari data observasi sebesar 16,2 µg/m³ yang terjadi pada pukul 05.00 UTC dan minimum terjadi pada pukul 01.00 UTC sebesar 4,6 µg/m³. Konsentrasi PM_{2.5} luaran WRF-Chem yang tertinggi terjadi pada pukul 05.00 UTC sebesar 4,3 µg/m³ dan minimumnya 1,6 µg/m³ yang terjadi pada pukul 23.00 UTC.

Hasil Validasi Model WRF-Chem dengan Data Observasi Stasiun

Tabel 2. Hasil Validasi Model dengan data Observasi

No	Indikator	Hari Tanpa Hujan (HTH) 13 Juni 2022	Hari Libur Tahun Baru 1 Januari 2023
1	r	0.48	0.56
2	RMSE	4.09	10.02
3	MAE	1.19	6.40

Hasil validasi model PM_{2.5} luaran WRF-Chem menggunakan data observasi dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang ditunjukkan oleh Tabel 2. Hasil korelasi saat HTH dan HLTB memiliki hubungan yang cukup kuat dengan data hasil observasi. Namun, nilai korelasi saat HLTB lebih tinggi dibandingkan dengan HTH.

Nilai RMSE saat HLTB lebih tinggi dibandingkan dengan saat HTH. Begitu juga yang terjadi pada nilai MAE. Nilai eror yang cukup tinggi bisa saja disebabkan oleh penggunaan konfigurasi parameterisasi yang belum sepenuhnya tepat dengan kondisi di wilayah Sumatera Barat saat pengerjaan model. Selain itu, validasi hanya menggunakan satu titik untuk mewakili seluruh wilayah Sumatera Barat.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi PM_{2.5} dengan menggunakan WRF-Chem di wilayah Sumatera Barat menunjukkan adanya pola sebaran yang hampir sama, baik pada HTH maupun HLTB. Konsentrasi PM_{2.5} pada siang hari memiliki konsentrasi yang tinggi pada wilayah yang menjadi sumber penghasil PM_{2.5} seperti Padang, Bukittinggi, Agam, Solok, dan Tanah Datar. Sementara itu, pada sore hingga malam hari menjelang pagi, konsentrasi tersebut cenderung menyebar ke wilayah lain. Konsentrasi PM_{2.5} dengan rentang 20 – 30 µg/m³ yang tergolong cukup tinggi lebih dominan terjadi pada HLTB. Hasil luaran model WRF-Chem juga di validasi dengan data observasi

yang dihasilkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang pada kedua waktu tersebut masih pada kategori aman berdasarkan BMUN dan menghasilkan nilai r sebesar 0,48 (HTH) dan 0,56 (HLTB) yang menunjukkan jika performa kedua model terhadap data observasi memiliki hubungan yang cukup kuat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada teman-teman penulis yang telah membantu menyelesaikan tulisan ini. Kemudian, ucapan terimakasih kepada NCEP sebagai penyedia data FNL dan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sebagai penyedia data observasi PM_{2.5}

Daftar Pustaka

- [1] WMO (World Meteorological Organization). (2021a). *Ambient (outdoor) air pollution*. (Diakses dari www.who.int pada tanggal 16 November 2022).
- [2] Xie, Y., Dai, H., Dong, H., Hanaoka, T., & Masui, T. (2016). Economic impacts from PM_{2.5} pollution-related health effects in China: a provincial-level analysis. *Environmental Science Technology*, 50(9), 4836-4843.
- [3] WMO (World Meteorological Organization). (2021b). *Increasing risk of "climate penalty" from pollution and climate change*. (Diakses dari www.public.wmo.int pada tanggal 15 Januari 2023).
- [4] Zheng, M., Salmon, L. G., Schauer, J. J., Zeng, L., Kiang, C., Zhang, Y., & Cass, G. R. (2005). Seasonal trends in PM_{2.5} source contributions in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 39(22), 3967-3976.
- [5] Nuryanto, D. E. (2015). Simulation of forest fires smoke using WRF-Chem model with FINN fire emissions in Sumatera. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 65-69.
- [6] Hirtl, M., Scherllin-Pirscher, B., Stuefer, M., Arnold, D., Baro, R., Maurer, C., & Mulder, M. D. (2020). Extension of the WRF-Chem volcanic emission preprocessor to integrate complex source terms and evaluation for different emission scenarios of the Grimsvötn 2011 eruption. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 20(11), 3099-3115.
- [7] Fang, Z., Wu, P.-Y., Lin, Y.-N., Chang, T.-H., & Chiu, Y.-h. (2021). Air Pollution's Impact on the Economic, Social, Medical, and Industrial Injury Environments in China. *Paper presented at the Healthcare*.
- [8] Choi, M.-W., Lee, J.-H., Woo, J.-W., Kim, C.-H., & Lee, S.-H. (2019). Comparison of PM_{2.5} chemical components over East Asia simulated by the WRF-Chem and WRF/CMAQ models: on the models' prediction inconsistency. *Atmosphere*, 10(10), 618.
- [9] Virgianto, R. H., Rivani Putra, R., Kinanti, N. P., Saputra, A. H., & Khoir, A. N. J. I. J. A. A. S. (2022). A numerical simulation of PM_{2.5} concentration using the WRF-Chem model during a high air pollution episode in 2019 in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, 11(4), 335-344.
- [10] Fatma, M. A. (2023). Kajian Dispersi Polutan PM_{2.5} di Jakarta Menggunakan Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem). *Respositori*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Sadik, K., (1995). Analisis Korelasi dan Regresi.
- [12] Nugroho, S., Akbar, S., & Vusvitasari, R. (2008). Kajian Hubungan Koefisien Korelasi Pearson (r), Spearman-rho (ρ), Kendall-Tau (τ), Gamma (G), dan Somers. *Jurnal Ilmiah MIPA*, 4(2), 372-381.
- [13] Chai, T., Carmichael, G. R., Tang, Y., Sandu, A., Heckel, A., Richter, A., & Burrows, J. P. (2009). Regional NO_x emission inversion through a four-dimensional variational approach using SCIAMACHY tropospheric NO₂ column observations. *Atmospheric Environment*, 43(32), 5046-5055.
- [14] Li, C., & Managi, S. (2021). Contribution of on-road transportation to PM_{2.5}. *Scientific reports*, 11(1), 21320.
- [15] McCormack, M. C., Breyse, P. N., Hansel, N. N., Matsui, E. C., Tonorezos, E. S., Curtin-Brosnan, J., Diette, G. B. (2008). Common household activities are associated with elevated particulate matter concentrations in bedrooms of inner-city Baltimore pre-school children. *Environmental research*, 106(2), 148-155.
- [16] Chen, J., Shen, H., Li, T., Peng, X., Cheng, H., & Ma, C. (2019). Temporal and spatial features of the correlation between PM_{2.5} and O₃ concentrations in China. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 16(23), 4824.
- [17] Chen, J., Yu, X., Sun, F., Lun, X., Fu, Y., Jia, G., . . . Bi, H. (2015). The concentrations and reduction of airborne particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) at shelterbelt site in Beijing. *Atmosphere*, 6(5), 650-676.
- [18] Musthafa, M., Turyanti, A., & Nuryanto, D. (2019). Sensitivity of Planetary Boundary Layer Scheme in WRF-Chem Model for Predicting PM₁₀ Concentration (Case study: Jakarta). *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

ANALISIS PERIODE ULANG CURAH HUJAN DI SULAWESI TENGGARA MENGGUNAKAN METODE IWAI KADOYA

ANALYSIS OF RAINFALL RE-PERIOD IN SOUTHEAST SULAWESI USING IWAI KADOYA METHOD

Hendri Satria WD^{1*}, Dewi Tamara Qothrunada²

¹Pusat Instrumentasi, Kalibrasi dan Rekayasa BMKG, Jakarta

²Biro Perencanaan BMKG, Jakarta

**E-mail: hendrisatriawd@bmkgo.id

Naskah masuk: 07 Maret 2022

Naskah diperbaiki: 19 Agustus 2022

Naskah diterima: 22 Maret 2023

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik curah hujan maksimum dan periode ulang curah hujan maksimum di wilayah Sulawesi Tenggara guna mengantisipasi kemungkinan terjadinya curah hujan dengan intensitas tinggi di kemudian hari. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data curah hujan dari 3 stasiun pengamatan cuaca di Sulawesi Tenggara. Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif untuk menghitung Curah hujan maksimum bulanan dan periode ulang curah hujan rencana yang dapat dihitung dengan menggunakan metode Iwai Kadoya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa curah hujan maksimum tertinggi terjadi di Stasiun Meteorologi Maritim Kendari sebesar 213.3 mm/hari. Curah Hujan di wilayah Sulawesi Tenggara memiliki karakteristik yang berbeda – beda karena dipengaruhi oleh topografi daerahnya. Periode ulang curah hujan rencana dari 3 stasiun pengamatan memiliki karakteristik berulang dalam waktu yang bervariasi yaitu 1 stasiun pada periode 10-20 tahun dan 2 stasiun pada periode 40-50 tahun.

Kata kunci: curah hujan maksimum, periode ulang, metode Iwai Kadoya, Sulawesi Tenggara

ABSTRACT

This study aims to analyze the characteristics of the maximum rainfall and the maximum rainfall return period in the Southeast Sulawesi region in order to anticipate the possibility of high intensity rainfall in the future. The research was conducted using rainfall data from 3 weather observation stations in Southeast Sulawesi. This study uses descriptive analysis techniques to calculate the monthly maximum rainfall and return period of planned rainfall which can be calculated using the Iwai Kadoya method. The results of this study indicate that the highest maximum rainfall occurs at the Kendari Maritime Meteorological Station of 213.3 mm/day. Rainfall in the Southeast Sulawesi region has different characteristics because it is influenced by the topography of the area. The return period of the planned rainfall from the 3 observation stations has recurring characteristics at various times, namely 1 station in the 10-20 year period and 2 stations in the 40-50 year period.

Keywords: maximum rainfall, Rainfall re-periods, Iwai Kadoya method, Southeast Sulawesi

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan suatu kawasan benua maritim karena sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lautan dan diapit oleh dua samudera, yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik [1]. Selain itu, Indonesia merupakan daerah Monsoon yang terletak antara benua Asia dan Australia. Sebagian besar (70%) wilayah Indonesia merupakan lautan, sedangkan wilayah daratannya terdiri dari lebih kurang 17 500 pulau besar dan kecil, dan umumnya memiliki permukaan yang bergunung-gunung, sehingga menyebutnya sebagai *maritime continent* [2]. Kondisi wilayah tersebut menyebabkan adanya keragaman iklim di wilayah Indonesia. Keragaman iklim ini terjadi karena perbedaan letak geografis dan kondisi topografis yang kompleks [3]. Perbedaan ini nampak jelas dengan adanya perbedaan tipe-tipe hujan di wilayah ini, yakni tipe monsun, ekuatorial dan local [4].

Dua musim monsun utama sangat dominan di wilayah ini, Monsun Timur Laut terjadi pada bulan Desember sampai dengan Maret dan Monsun Barat Daya terjadi pada bulan Juni sampai dengan September [5]. Secara umum Monsoon didefinisikan sebagai keadaan musim dimana dalam musim panas angin permukaan berhembus dari seperempat penjuruan angin (Barat-Utara) secaramantap (arah angin terbanyak rata-rata > 40%) daripada musim dingin arah angin berbalik dari seperempat penjuruan angin yang lainnya (Timur-Selatan) [6].

Sulawesi Tenggara merupakan kawasan yang memiliki karakteristik curah hujan yang dipengaruhi oleh sirkulasi Monsoon. Karakteristik iklim Sulawesi Tenggara sedikit berbeda dengan karakteristik iklim di wilayah Indonesia lainnya [7]. Pada umumnya wilayah Indonesia pada bulan Mei dan Juni telah memasuki musim kemarau akan tetapi wilayah Sulawesi Tenggara malah mengalami puncak musim hujan dengan intensitas hujan yang sangat tinggi sehingga sering kali menjadi bulan-bulannya banjir.

Sulawesi Tenggara memiliki topografi yang berbukit-bukit dan terdiri dari beberapa pulau, dimana Faktor topografi dari sistem cuaca regional memiliki peran penting dalam jumlah dan pola spasial curah hujan dalam suatu wilayah. Sulawesi Tenggara sendiri memiliki beberapa stasiun pengamatan cuaca khususnya curah hujan, salah satunya berada di Stasiun Meteorologi Maritim Kendari, Stasiun Meteorologi Betoambari BauBau, dan Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka.

Curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan beberapa kerugian terhadap lingkungan dan manusia yang diakibatkan oleh bencana alam. Salah satu bencana alam yang diakibatkan oleh curah hujan adalah bencana alam banjir. Bencana banjir tidak dapat dicegah akan tetapi dampak dari bencana banjir dapat dikurangi.

Untuk mengatasi kerugian akibat banjir, sangat diperlukan penanganan secara cepat dan tepat. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan perhitungan periode ulang hujan [8]. Perhitungan periode ulang curah hujan tidak hanya untuk mitigasi bencana banjir, akan tetapi informasi periode ulang curah hujan ini bermanfaat untuk memprediksi waktu yang diperlukan setiap wilayah untuk kembali mengulang curah hujan maksimum. Perhitungan periode ulang hujan dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode Iwai Kadoya yang berbasis statistik dan distribusi normal.

Dari latar belakang diatas, peneliti tertarik untuk menganalisis karakteristik curah hujan maksimum dan periode ulang curah hujan maksimum di wilayah Sulawesi Tenggara guna mengantisipasi kemungkinan terjadinya curah hujan dengan intensitas tinggi yang dapat berakibatkan bencana banjir di kemudian hari.

2. Metode Penelitian

Data

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan data yang meliputi:

1. Data curah hujan harian tahun 2001-2020 di Stasiun Meteorologi Maritim Kendari
2. Data curah hujan harian tahun 2001-2020 di Stasiun Meteorologi Betoambari BauBau
3. Data curah hujan harian tahun 2001-2020 di Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan maksimum harian yang dianalisis berdasarkan periode tahunan dan bulanan. Data penelitian curah hujan maksimum bulanan dari ke 3 stasiun pengamatan di Sulawesi Tenggara dianalisis untuk mengetahui bulan-bulan dengan curah hujan maksimum tertinggi.

Metode

Periode ulang merupakan laju suatu hidrologi dalam hal ini adalah data curah hujan mencapai nilai tertentu atau kurang dari perkiraan terjadi skali dalam T tahun. Untuk data curah hujan harian, disebut dengan curah hujan harian

kemungkinan T tahun. Ada beberapa cara untuk memperkirakan kemungkinan hujan diantaranya:

1. Menggunakan distribusi normal dengan menghitung distribusi normal yang didapat dengan merubah variable distribusi asimetris ke dalam logaritma atau ke dalam akar pangkat n . cara ini dinamakan dengan metode Iwai.
2. Menggunakan kurva asimetris kemungkinan kerapatan dengan jenis distribusi eksponensial dan distribusi harga ekstrim.
3. Menggunakan kombinasi cara pertama dan kedua

Dalam penelitian ini cara yang digunakan adalah cara pertama yaitu Iwai Kadoya [9] yang dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dibawah ini:

$$\xi = c \cdot \log \frac{R+b}{R_0+b} \quad (1)$$

Dimana ξ adalah faktor frekuensi, c adalah faktor iwai kadoya, $\log R_0+b$ adalah harga rata-rata $\log (R_i+b)$ dengan $(i = 1...n)$ dan dinyatakan dengan $(R_0, b$ dan $c)$ menggunakan pendekatan persamaan 2 dibawah ini:

Nilai R_0 :

$$\log R_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \log R_i \quad (2)$$

R_i merupakan nilai curah hujan maksimum rata-rata yang dapat dicari dengan persamaan 1. b merupakan konstanta pada metode iwai kadoya yang dapat dicari dengan persamaan 3 dibawah ini:

$$b = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n b_i, m \cong \frac{n}{10} \quad (3)$$

Nilai b pada metode iwai kadoya dapat dicari dengan menggunakan nilai b_i melalui persamaan 4 dibawah ini:

$$b_i = \frac{R_i R_b - R_0^2}{2 \cdot \log R_0 - (R_i + R_b)} R_i \quad (4)$$

X_0 merupakan nilai dari jumlah curah hujan maksimum ditambah dengan konstanta b pada iwai kadoya yang digunakan pada persamaan 8. X_0 dapat dicari dengan persamaan 5 berikut:

$$\begin{aligned} X_0 &= \log (R_0+b) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i + b) \end{aligned} \quad (5)$$

Nilai c adalah faktor metode iwai kadoya yang ada di persamaan 2 dapat dicari dengan rumus dibawah:

$$\frac{1}{c} = \sqrt{\frac{2}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log \frac{R_i+b}{R_0+b})^2} \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \{ \log (R_i + b) \}^2 \quad (7)$$

Keterangan:

R_i = Nilai pengamatan dengan nomor urutan m dari yang terbesar

R_b = Nilai pengamatan dengan nomor urutan m dari yang terkecil

n = banyak data

Jika konstanta b sangat kecil maka untuk mempermudah perhitungan nilai $b= 0$, jika konstanta diatas diperoleh, maka curah hujan yang mungkin (*probable rainfall*) yang sesuai dengan kemungkinan lebih sembarang (*arbitrary excess*) dapat dihitung dengan persamaan 8 dibawah ini:

$$\log(R+b) = X_0 + (\frac{1}{c}) \cdot \xi \quad (8)$$

Setelah menggunakan persamaan 1 hingga 8 maka didapatkan periode ulang curah hujan setiap stasiun dengan asumsi bahwa data curah hujan memiliki distribusi log-normal. Analisis karakteristik periode ulang curah hujan dengan cara membandingkan curah hujan maksimum setiap stasiun pengamatan untuk memperkirakan cepat atau lambat nya stasiun mengulang kembali hujan maksimumnya sesuai dengan penelitian terdahulu [4,10,11]. Selain itu hasil periode ulang setiap stasiun juga dibandingkan secara lokal maupun regional untuk mengetahui tipe hujan yang mempengaruhi stasiun tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa karakteristik periode ulang curah hujan ini mencakup daerah Sulawesi Tenggara, yang diteliti dari 3 stasiun pemantau cuaca, yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Kendari, Stasiun Meteorologi Betoambari BauBau, dan Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka.

Dalam metode ini data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan maksimum setiap bulannya yang diambil dari data pengukuran curah hujan setiap hari. Dalam penelitian ini terdapat variabel bebas dan terikat. Variabel bebas dari penelitian ini adalah curah hujan maksimum setiap bulan, sedangkan

variabel terikatnya adalah periode ulang curah hujan [10].

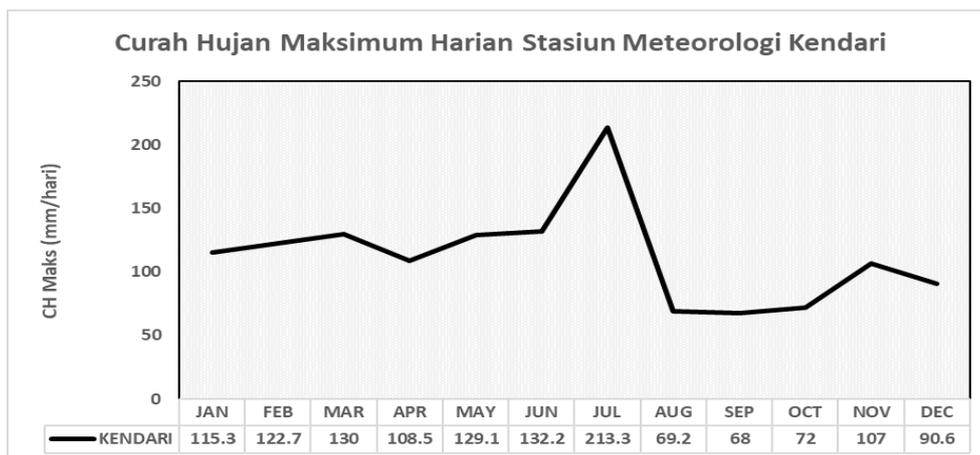
a. Stasiun Meteorologi Maritim Kendari

Data curah hujan maksimum bulanan periode 2001-2020 di Stasiun Meteorologi Maritim Kendari berada pada rentang 68-213.3 mm/hari. Data curah hujan maksimum bulanan dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah.

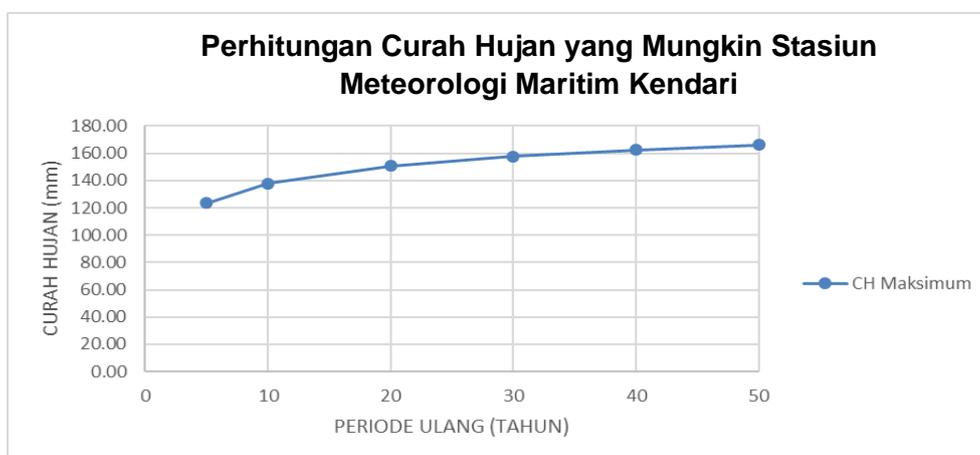
Gambar 1 menunjukkan jumlah curah hujan maksimum pada beberapa bulan dan dapat dilihat curah hujan yang paling tinggi terjadi pada bulan Juli, dengan intensitas sebesar 213.3 mm/hari. Karakteristik curah hujan maksimum Stasiun Meteorologi Maritim Kendari termasuk kategori curah hujan yang cukup tinggi, hal ini dapat dilihat setiap bulan terjadi curah hujan yang lebih dari 100 mm. Curah hujan di wilayah ini dipengaruhi oleh sirkulasi musonal, namun memiliki puncak curah hujan maksimum yang berbeda dari wilayah Indonesia lainnya.

Selain itu curah hujan wilayah Stasiun Meteorologi Maritim Kendari cukup tinggi karena berada di wilayah sekitaran pantai. Curah hujan maksimum akan meningkat pada waktu tertentu. Namun jika dilihat dari data curah hujan maksimum maka peningkatannya tidak terlalu terlihat, maka dari itu perlu perhitungan periode ulang curah hujan untuk mengetahui besarnya peningkatan curah hujan maksimum.

Hasil periode ulang curah hujan juga digunakan untuk mengetahui rentang waktu suatu daerah untuk mengulang curah hujan ke nilai maksimum. Hasil perhitungan Iwai Kadoya untuk curah hujan maksimum Rencana Stasiun Meteorologi Maritim Kendari dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 1. Data Curah Hujan Maksimum Bulanan Stasiun Meteorologi Maritim Kendari Periode 2001-2020



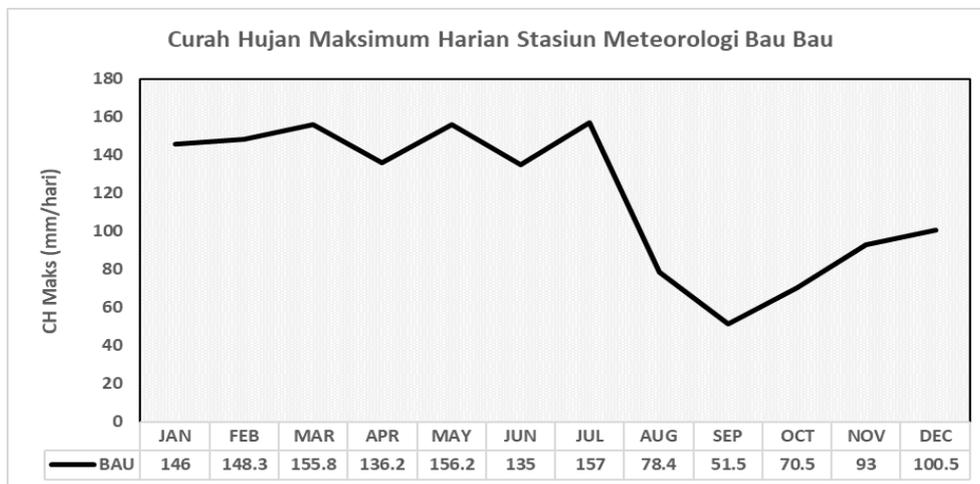
Gambar 2. Hasil Perhitungan Periode Ulang Curah Hujan Maksimum Stasiun Meteorologi Maritim Kendari

Stasiun Meteorologi Maritim Kendari memiliki peluang curah hujan maksimum sebesar 123-166 mm/hari dengan rentang waktu 5-50 tahun. Karakteristik periode ulang curah hujan Stasiun Meteorologi Maritim Kendari untuk mengulang curah hujan ke curah hujan maksimum yaitu 40-50 tahun dengan curah hujan rencana sebesar 213.3 mm/hari.

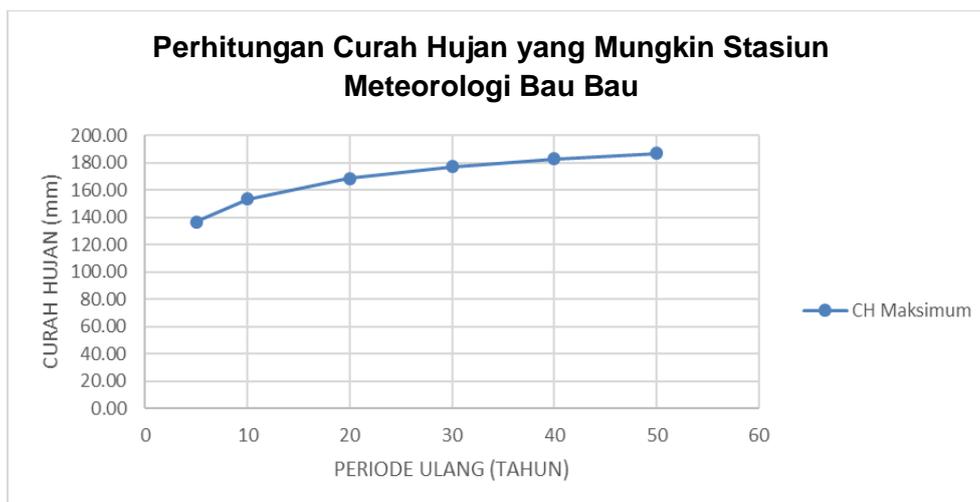
b. Stasiun Meteorologi Betoambari Bau Bau

Stasiun Meteorologi Bau Bau merupakan Stasiun Meteorologi yang berada di Bandara Betoambari Bau Bau. Data curah hujan maksimum Stasiun Meteorologi Bau Bau berada pada rentang 51.5-157 mm/hari. Data maksimum curah hujan bulanan tertinggi dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah

Curah hujan maksimum Stasiun Meteorologi Bau Bau paling tertinggi terjadi pada bulan Juli dengan intensitas 157 mm/hari. Dapat dilihat pada Gambar 3 di atas, curah hujan maksimum dengan intensitas tinggi terjadi pada bulan Januari-Juli kemudian melandai pada bulan Agustus. Intensitas curah hujan maksimum di wilayah tersebut tidak berbeda jauh antar bulannya, sehingga puncak maksimum curah hujan yang menggambarkan pola monsunial tidak terlihat pada diagram tersebut. Hasil perhitungan Iwai Kadoya untuk curah hujan maksimum Rencana Stasiun Meteorologi Bau Bau dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Data Curah Hujan Maksimum Bulanan Stasiun Meteorologi Betoambari Bau Bau Periode 2001-2020



Gambar 4. Hasil Perhitungan Periode Ulang Curah Hujan Maksimum Stasiun Meteorologi Bau Bau

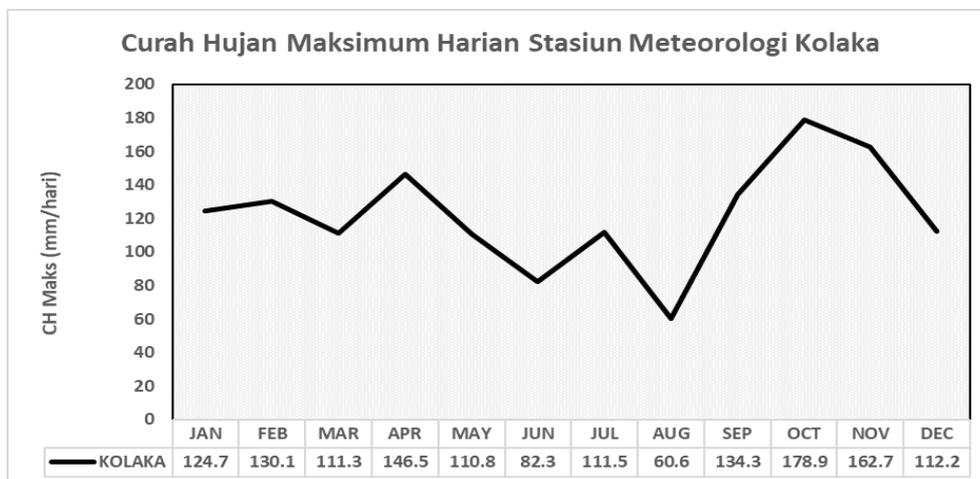
Curah hujan rencana (curah hujan yang mungkin) Stasiun Meteorologi Bau Bau sebesar 136-187 mm/hari dengan periode 5-50 tahun. Karakteristik periode ulang curah hujan Stasiun Meteorologi Bau Bau untuk mengulang curah hujan maksimum absolut yang pernah terjadi pada rentang waktu 10-20 tahun.

c. Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka

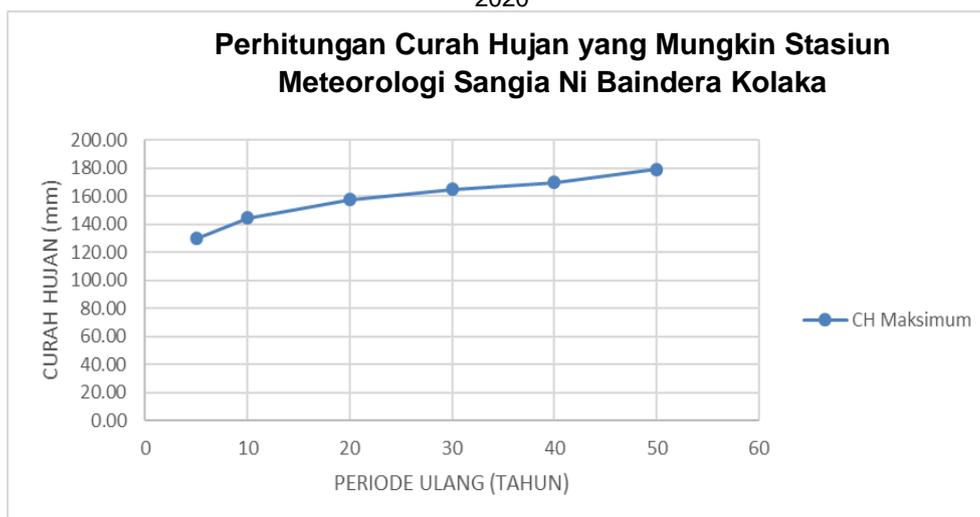
Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka yang berada di wilayah Kolaka. Data curah hujannya berada pada rentang 82.3-178.9 mm/hari. Data curah hujan dapat dilihat pada gambar 5 dibawah. Stasiun Meteorologi Kolaka memiliki curah hujan maksimum tertinggi pada bulan

Oktober dengan tinggi curah hujan 178.9 mm/hari. Hal ini menunjukkan bahwa puncak maksimum pola curah hujan maksimum bulanan di Kolaka berbeda dengan 2 wilayah lainnya, yaitu Bau Bau dan Kendari yang terjadi pada bulan Juli. Kedua wilayah tersebut memiliki curah hujan maksimum yang curah hujan rendah di bulan Oktober.

Pada Gambar 6 di bawah ini dapat kita lihat perhitungan periode ulang curah hujan di wilayah Kolaka. Besar curah hujan rancangan Stasiun Meteorologi Kolaka sebesar 129-179.5 mm/hari dengan rentang waktu 5-50 tahun. Karakteristik periode ulang curah hujan wilayah Kolaka mengulang curah hujan maksimum pada rentang waktu yaitu 40-50 tahun.



Gambar 5. Data Curah Hujan Maksimum Bulanan Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka Periode 2001-2020



Gambar 6. Hasil Perhitungan Periode Ulang Curah Hujan Maksimum Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka

Hasil penghitungan periode ulang pada penelitian ini dengan metode Iwai Kadoya di wilayah Sulawesi Tenggara memiliki konsistensi dengan penelitian - penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dimana semakin bertambah periode ulang tahunannya maka diikuti dengan peningkatan peluang tingginya curah hujan yang akan terjadi.

Perbedaan periode ulang di wilayah Sulawesi Tenggara disebabkan oleh beberapa faktor. Sulawesi Tenggara sendiri secara umum mempunyai pola curah hujan musonal, dimana terdapat perbedaan yang jelas antara musim hujan dengan musim kemarau. Anomali dinamika atmosfer skala lokal maupun regional banyak ditemukan di Sulawesi Tenggara, sehingga menyebabkan adanya pergeseran pola musim maupun puncak curah hujan [7]. Arah dan kecepatan angin juga diyakini membawa dampak bagi pergerakan awan hujan yang terdapat di atas wilayah Sulawesi Tenggara. Sehingga wilayah yang mempunyai banyak tutupan awan di atasnya berpeluang lebih besar dalam proses terjadinya hujan. Tidak hanya itu, aktivitas angin darat dan angin laut juga turut berpengaruh dalam adanya perbedaan intensitas curah hujan maksimum yang terjadi diantara wilayah pesisir, dataran tinggi, dan dataran rendah [11].

Stasiun Meteorologi Betoambari Bau-Bau termasuk ke dalam wilayah dengan pola curah hujan musonal, namun memiliki pola ocal yang cukup kuat. Hal ini disebabkan karena daerah ini dikelilingi oleh wilayah lautan dan berada dekat dengan laut banda. Anomali ini menyebabkan wilayah Bau-Bau dapat mengalami curah hujan yang tinggi serta periode ulang yang paling cepat di wilayah Sulawesi Tenggara.

4. Kesimpulan

Hasil dari perhitungan periode ulang curah hujan menggunakan penurunan persamaan dengan metode Iwai Kadoya dan identifikasi curah hujan maksimum pada 3 wilayah di Sulawesi Tenggara dapat disimpulkan:

Pada wilayah Stasiun Meteorologi Maritim Kendari dengan nilai curah hujan maksimum 213.3 mm/hari yang terjadi pada bulan Juli. Untuk periode ulang curah hujan maksimum berada pada rentang 123-166 mm/hari dengan curah hujan rencana maksimum yang pernah

terjadi, diproyeksikan akan berulang pada periode 40-50 tahun.

Untuk wilayah Stasiun Meteorologi Betoambari Bau Bau, nilai curah hujan maksimum yang pernah terjadi yaitu 157 mm/hari. Periode ulang Curah hujan rencana sebesar 136-187 mm/hari, untuk curah hujan mengulang curah hujan maksimum absolut yang pernah terjadi pada rentang waktu 10-20 tahun.

Pada wilayah Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka nilai curah hujan maksimum yang pernah terjadi sebesar 178.9 mm/hari. Periode ulang curah hujan di wilayah ini berada pada rentang 129-179 mm/hari, dengan prakiraan curah hujan maksimum yang pernah terjadi berulang antara 40-50 tahun.

Perhitungan periode ulang menggunakan metode Iwai Kadoya pada Stasiun Meteorologi Maritim Kendari, Stasiun Meteorologi Betoambari Bau Bau, dan Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera Kolaka menggunakan data curah hujan selama 20 tahun menunjukkan pola curah hujan yang bertambah tinggi jika periode ulang tahunnya juga bertambah sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan sebagai penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan naskah atau dalam penelitian ini. Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Stasiun Meteorologi Maritim Kendari, Stasiun Meteorologi Bau Bau, dan Stasiun Meteorologi Kolaka yang telah mendukung dalam hal kebutuhan data dan informasi untuk tujuan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Hermawan, E., & Lestari, S. (2007). Analisis Variabilitas Curah Hujan di Sumatera Barat Dan Selatan Dikaitkan Dengan Kejadian Dipole Mode. *Jurnal Sains Dirgantara*,4(2), 91-106.
- [2] Ramage, G.C. (1971). *Monsoon Meteorology (International Geophysics Series; v.15)*. Academic Press Inc, New York.
- [3] Hamada, J.I. (2003). Intraseasonal and diurnal variations of Rainfall over Sumatera Island. *Buku Panduan Workshop Pemanfaatan Informasi Iklim Untuk Pertanian di Sumatera Barat*.

- [4] Sudiar, N.Y. (2016). Analisis Periode Ulang Banjir di Kota Padang Menggunakan Cara Iwai dan Kaitannya dengan MJO (Madden Julian Oscillation). *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(2), 103-110.
- [5] Prawoto, I., Azizah, N., & Taufik, M. (2011). Tinjauan Kasus Banjir di Kepulauan Riau Akhir Januari 2011. *Jurnal Megasains*, 2(2), 116-122.
- [6] Hermawan, E. (2009). Analisis Perilaku Curah Hujan di Atas Kototabang Saat Bulan Basah dan Bulan Kering. *Makalah Proceeding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, 16.
- [7] Qothrunada, D. T., & Risnayah, S. (2020). Tinjauan Klimatologis Kejadian Hujan di Musim Kemarau pada Dasarian I September 2020 di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Widya Climago*, 2(2).
- [8] Mulya, M. K. F., Wardhani, E., & Kramawijaya, A. G. (2020). Evaluasi Perencanaan Sistem Penyaluran Drainase di Kelurahan Jurumudi Kecamatan Benda Kota Tangerang. *Jurnal Reka Lingkungan*, 8(2), 90-100.
- [9] Soehardi, F., & Dinata, M. (2018). Recent analysis of maximum rain period. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(2.3), 63-67.
- [10] Gara, M. N. I., Dwiridal, L., Nugroho, S. (2019). Analisis Karakteristik Periode Ulang Curah Hujan Dengan Metode Iwai Kadoya Untuk Wilayah Sumatera Barat, *Pillar of Physics*, 12, 47-52.
- [11] Tahmid, M., Nugroho, Y. N., & Indriani, F. (2020). Pemetaan Karakteristik Periode Ulang Curah Hujan Maksimum di Kota Manado. *Jurnal Megasains*, 11(2), 13-19.