



megasains

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

VOL 15 | NO.1 | APRIL 2024

DAMPAK DAN TINGKAT RESIKO LA NINA TERHADAP PENAMBAHAN CURAH HUJAN DI JAWA TENGAH

SRI ENDAH ARDHI NINGRUM ABDULLAH , UMAROH

KAJIAN INDEKS HUJAN EKSTREM DI WILAYAH INDONESIA

KIKI, M. AGUNG FAUZI, NUNUN NURHAYATI, KHAIRANI K.N.A

IDENTIFIKASI PERUBAHAN CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA DI KOTA BENGKULU DAN KABUPATEN KEPAHANG PROVINSI BENGKULU

DINA WHIRI MUSLIHAH, SAIF AKMAL

APLIKASI FAST FOURIER TRANSFORM DALAM ANALISIS KORELASI PERIODISITAS CURAH HUJAN DI SUMATERA UTARA DENGAN FENOMENA VARIABILITAS IKLIM GLOBAL

REVO ZULHAN NUGROHO, NAJLA AILIYA AZZAHRA, PRIGAN JUNDAN WISANGGENI, NURJANAH KASTELLA, ZUHAYR RADITYA HASIBUAN, YOSEP TAMPUBOLON

PEMANFAATAN TEKNIK RGB PADA CITRA SATELIT HIMAWARI-8 UNTUK ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER KEJADIAN BANJIR KABUPATEN BANDUNG 06 MEI 2023

RIZKI SYAHPUTRA, YAHYA DARMAWAN

PEMANFAATAN PEMODELAN NEURAL PROPHET DALAM MEMPREDIKSI PARAMETER PM10 (STUDI KASUS DKI JAKARTA)

MUHAMMAD AULIA ZIKRI, JUANG MERDEKA, AGUNG HARI SAPUTRA

MEGASAINS

VOLUME 15

NOMOR 1

HALAMAN
1 - 50

BKT
APRIL 2024

P-ISSN 2086-5689
E-ISSN 2723-2239



9 772086 568904



9 772723 223905



Vol. 15, No.1 – April 2024

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

Dr. 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, M.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 Zulgino, 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 15 No. 1 tahun 2024 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 15 No.1 tahun 2024 ini.

Sekian, wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bukit Kototabang, April 2024

Daftar KTI

DAMPAK DAN TINGKAT RESIKO LA NINA TERHADAP PENAMBAHAN CURAH HUJAN DI JAWA TENGAH Sri Endah Ardhi Ningrum Abdullah , Umaroh	1-7
KAJIAN INDEKS HUJAN EKSTREM DI WILAYAH INDONESIA Kiki, M. Agung Fauzi, Nunun Nurhayati, Khairani K.N.A	8-17
IDENTIFIKASI PERUBAHAN CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA DI KOTA BENGKULU DAN KABUPATEN KEPAHANG PROVINSI BENGKULU Dina Whiri Muslihah, Saif Akmal	18-28
APLIKASI FAST FOURIER TRANSFORM DALAM ANALISIS KORELASI PERIODISITAS CURAH HUJAN DI SUMATERA UTARA DENGAN FENOMENA VARIABILITAS IKLIM GLOBAL Revo Zulhan Nugroho, Najla Ailiya Azzahra, Prigan Jundan Wisanggeni, Nurjanah Kastella, Zuhayr Raditya Hasibuan, Yosep Tampubolon	29-36
PEMANFAATAN TEKNIK RGB PADA CITRA SATELIT HIMAWARI-8 UNTUK ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER KEJADIAN BANJIR KABUPATEN BANDUNG 06 MEI 2023 Rizki Syahputra, Yahya Darmawan	37-43
PEMANFAATAN PEMODELAN NEURAL PROPHET DALAM MEMPREDIKSI PARAMETER PM10 (STUDI KASUS DKI JAKARTA) Muhammad Aulia Zikri, Juang Merdeka, Agung Hari Saputra	44-50

DAMPAK DAN TINGKAT RESIKO LA NINA TERHADAP PENAMBAHAN CURAH HUJAN DI JAWA TENGAH

THE IMPACT AND RISK LEVELS OF LA NINA ON INCREASING RAINFALL IN CENTRAL JAVA

Sri Endah Ardhi Ningrum Abdullah^{1*}, Umaroh¹

¹Stasiun Klimatologi Kelas I Jawa Tengah, Jl. Siliwangi 291, Semarang, 50145.

*E-mail:sriendah.ardhiningrum@bmkgo.go.id

Naskah masuk: 2 Januari 2024 Naskah diperbaiki: 15 Mei 2024 Naskah diterima: 29 Mei 2024

ABSTRAK

Jawa Tengah sebagai provinsi penyangga pangan nasional, sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca/iklim. Anomali cuaca/iklim, seperti El Nino dan La Nina, dapat menyebabkan perubahan curah hujan. Penelitian terkait potensi cuaca/iklim, khususnya curah hujan, perlu diperbarui untuk membantu petani dan pemangku kepentingan lainnya beradaptasi. Berdasarkan analisis data curah hujan bulanan dan data indeks nino 3.4 bulanan selama 30 tahun (1991-2020) menggunakan metode frekuensi analisis dan metode *bootstrapping* didapatkan bahwa resiko dampak La Nina moderate hingga sangat tinggi terkonsentrasi pada periode SON pada sebagian besar wilayah Jawa Tengah dengan peningkatan curah hujan (40-70%). Dampak La Niña memberikan peningkatan curah hujan hingga >100% dengan resiko moderate hingga tinggi terjadi pada periode JJA di wilayah pantura barat hingga pantura timur Jawa Tengah. Sedangkan pada periode DJF dan MAM memberikan peningkatan curah hujan (20 – 70%) namun dengan resiko rendah hingga sangat rendah hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah.

Kata kunci: La Nina, Jawa Tengah, Peningkatan Curah Hujan, tingkat resiko

ABSTRACT

Central Java Province is one of the national food buffer provinces. One of the factors that influence the productivity of the agricultural and horticultural sectors is weather/climate conditions, including anomalies that cause weather/climate changes. Therefore, analysis and research related to weather/climate potential, especially regarding rainfall, needs to be updated to determine adaptation actions for farmers and related stakeholders. Rainfall as a climate element apart from its dynamic nature, the physical processes involved are also very complex. This rain uncertainty becomes greater when climate anomalies occur in the form of El Nino and La Nina. The influence of the La Nina phenomenon on increasing rainfall intensity is also possible in Central Java Province. Based on analysis of monthly rainfall data and monthly nino 3.4 index data for 30 years (1991-2020) using the frequency analysis method and bootstrapping method, the moderate to very high risk was concentrated in the SON period in most areas of Central Java with increasing rainfall (40 - 70%). The impact of La Niña provides an increase in rainfall of up to >100% with a moderate to high risk of occurring during the JJA period in the West Coast to East Pantura areas of Central Java. Meanwhile, the DJF and MAM periods increased rainfall (20 – 70%) but with low to very low risk in almost all areas of Central Java.

Keywords: La Nina, Central Java, Increased Rainfall, risk level

1. Pendahuluan

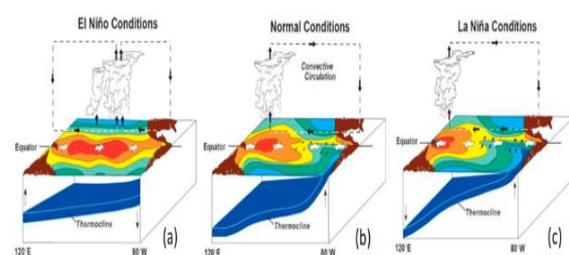
Secara astronomi, Indonesia terletak pada koordinat $6^{\circ}\text{LU} - 11^{\circ}\text{LS}$ dan $95^{\circ}\text{BT} - 141^{\circ}\text{BT}$ yang termasuk ke dalam wilayah tropis. Indonesia juga sering disebut sebagai wilayah benua maritim, karena memiliki lebih dari 7000 pulau, baik yang kecil maupun yang besar dengan topografi yang umumnya bergunung gunung. Indonesia terletak di antara dua samudera besar yakni Samudera Pasifik dan Samudera Hindia serta diapit oleh dua benua yaitu Benua Asia serta Benua Australia yang menjadikan wilayah Indonesia memiliki kondisi cuaca/iklim yang khas dibandingkan wilayah belahan bumi lainnya. Berdasarkan letak astronominya, wilayah Indonesia dilalui oleh garis ekuator, sehingga posisi matahari yang terus menerus melintas menyebabkan variasi temperatur harian sangat kecil mengakibatkan suhu laut hangat di perairan Indonesia [1].

Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi di Jawa yang letaknya diapit oleh dua provinsi besar yakni Provinsi Jawa Barat dan Provinsi Jawa Timur. Terletak diantara $5^{\circ}40'$ dan $8^{\circ}30'$ Lintang Selatan dan antara $108^{\circ}30'$ dan $111^{\circ}30'$ Bujur Timur. Provinsi Jawa Tengah terbagi menjadi 29 kabupaten dan 6 kota dengan luas wilayah sebesar 3,25 juta hektar. Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi penyangga pangan nasional, yang memiliki luas panen padi sawah 1,68 juta hektar. Selain produktivitas padi, Provinsi Jawa Tengah juga sebagai penghasil jagung, kedelai serta sayur-mayur dan hortikultura yang cukup besar [2]. Salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas sektor pertanian dan hortikultura tersebut adalah kondisi cuaca/iklim, termasuk anomali yang menyebabkan perubahan cuaca/iklim [3]. Oleh karenanya analisa dan penelitian terkait potensi cuaca/iklim perlu pemutakhiran guna menentukan tindak adaptasi bagi petani dan stake holder terkait.

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang sangat penting, namun keberadaannya secara spasial dan temporal masih sulit diprediksi. Selain sifatnya yang dinamis, proses fisis yang terlibat juga sangat kompleks. Ketidakpastian hujan ini semakin besar ketika terjadi anomali iklim berupa *El Nino* dan *La Nina*. Indonesia yang terletak pada belahan bumi dengan iklim *monsoon* tropis yang sangat sensitif terhadap anomali iklim ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) [4]. Pengaruh ENSO terhadap curah hujan di Indonesia sangat ditentukan oleh intensitas ENSO yang terjadi. Semakin kuat *La Nina*, maka semakin besar

potensinya untuk menimbulkan hujan lebat di Indonesia. Selain intensitas, posisi pusat ENSO di Samudera Pasifik, kemungkinan juga menentukan pengaruh ENSO terhadap Indonesia. Semakin dekat posisi konveksi ke Indonesia, maka akan semakin besar pengaruhnya ke Indonesia [5].

Peneliti sebelumnya telah menyampaikan pengaruh *La Nina* terhadap peningkatan curah hujan di Indonesia khususnya pulau Jawa. Ningsih et. al [1] menjelaskan bahwa hasil riset menggunakan metode statistik deskriptif untuk menghitung rata-rata curah hujan bulanan selama kurun waktu 30 tahun yaitu dari periode 1981 – 2010, ditemukan fenomena *La Nina* pada tahun 2010 menyebabkan curah hujan yang lebih tinggi dari rata-ratanya di Kabupaten Jembrana Bali. *La Nina* tahun 2010 mempengaruhi jumlah curah hujan yang lebih besar dibandingkan dengan periode *La Nina* pada tahun-tahun sebelumnya. Hal senada juga disampaikan Nabilah et. al. [4] yang melakukan penelitian dan pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman dalam mengolah data SST (*Sea Surface Temperature*) dan data curah hujan dari tahun 1998 sampai tahun 2016 dengan studi kasus Provinsi Jawa Barat. Fenomena *La Nina* mempengaruhi kenaikan intensitas curah hujan dibandingkan rata-rata normalnya di Provinsi Jawa Barat. Pengaruh fenomena *La Nina* terhadap peningkatan intensitas curah hujan juga dimungkinkan terjadi di Provinsi Jawa Tengah sebagaimana provinsi lain di pulau Jawa.



Gambar 1. Anomali suhu permukaan laut (warna merah menunjukkan suhu permukaan laut yang hangat), tiga fase ENSO: (a) kondisi *El Nino*, (b) kondisi normal, (c) kondisi *La Nina* [6].

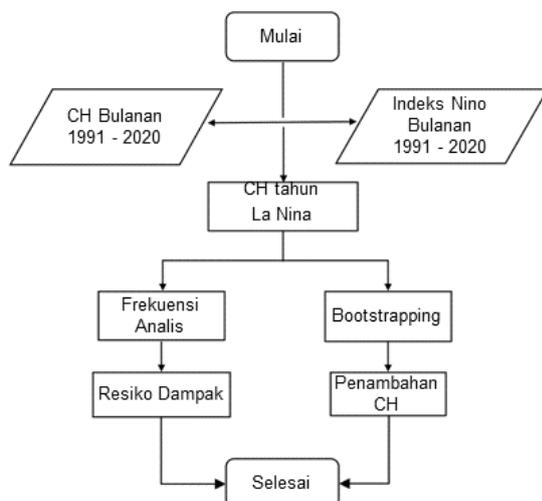
ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) merupakan gejala penyimpangan (naik turunnya) suhu permukaan laut Samudera Pasifik Bagian Timur dari kondisi normal yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dan temperatur. Secara umum ENSO terdiri dari dua periode yaitu *El Nino* dan *La Nina* [5]. Fenomena *La Nina* ditandai dengan penurunan

suhu permukaan laut dari rata-ratanya di kawasan Timur Ekuator. Selama terjadinya fenomena *La Nina* angin pasat Timur yang bertiup di sepanjang Samudera Pasifik menjadi lebih kuat (Sirkulasi *Walker* bergeser kearah Barat). Hasilnya, *upwelling* pun menjadi kuat di sepanjang pantai Amerika Selatan dengan suhu permukaan laut yang lebih dingin dari biasanya di wilayah Samudera Pasifik Bagian Timur, dan suhu permukaan laut yang lebih hangat dari biasanya di Samudera Pasifik Bagian Barat[1].

Pada fase *La Nina* (lihat gambar 1c), suhu permukaan laut di wilayah Indonesia menjadi lebih hangat, sehingga terjadi banyak konveksi dan mengakibatkan massa udara berkumpul di wilayah Indonesia, termasuk massa udara dari Pasifik Ekuator Timur. Hal tersebut menunjang pembentukan awan dan hujan, sehingga fenomena *La Nina* sering mengakibatkan terjadi curah hujan diatas normal [5].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data dengan interval dari tahun 1991 hingga 2020. Data curah hujan bulanan dari 133 pos hujan dengan kelengkapan data 70 – 100 % tersebar di seluruh kabupaten/kota di Jawa Tengah dan data indeks nino 3.4 bulanan dikumpulkan selama 30 tahun. Data dipilah menjadi dua kriteria yakni data curah hujan bulanan pada tahun-tahun *La Nina* dan data curah hujan bulanan pada tahun-tahun netral. Data curah hujan pada tahun-tahun *La Nina* dianalisa menggunakan metode frekuensi analisis dan metode *bootstrapping* (lihat gambar 2).



Gambar 2. Skema Penelitian.

Analisa menggunakan metode *Bootstrapping* dilakukan untuk mengetahui dampak *La Nina*

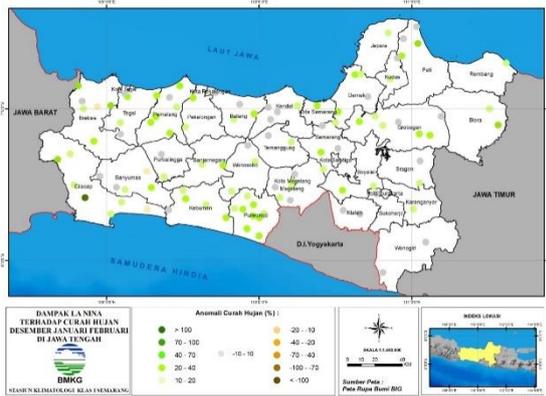
terhadap penambahan curah hujan. *Bootstrap* yakni simulasi pengambilan sampel suatu data dengan berulang-ulang dan dengan pengambilan. Nilai yang dihasilkan akan selalu berbeda pada setiap pengambilan sampel, sehingga sifat asimtotis distribusinya akan mendekati distribusi data sebenarnya [7]. *Bootstrapping* dilakukan sebanyak seribu kali menggunakan input data curah hujan dalam kondisi netral yang akan menghasilkan distribusi normal dari curah hujan pada tahun-tahun netral. Curah hujan pada tahun-tahun *La Nina* dibandingkan dengan curah hujan pada tahun netral. Hasil rata-rata akan menunjukkan tingkat signifikan dampak *La Nina*, jika berada pada rentang selang kepercayaan curah hujan netral, maka dikatakan tidak signifikan penambahannya. Namun apabila hasil rata-rata berada diluar dari selang kepercayaan curah hujan netral ($\pm 5\%$), maka dapat disimpulkan secara signifikan terjadi penambahan curah hujan dengan besaran tertentu dari netralnya. Hasil dari penambahan curah hujan dilakukan pemetaan dalam bentuk spasial sehingga terlihat dengan jelas dan mudah dibaca, wilayah-wilayah yang secara signifikan terpengaruh adanya fenomena *La Nina* yang ditunjukkan dengan penambahan curah hujan tertentu.

Pengolahan data menggunakan metode frekuensi analisis bertujuan mengetahui dampak *La Nina* atas sifat hujan atas normal curah hujan pada bulan bulan kejadian *La Nina* dibandingkan dengan normalnya (normal dari 1991-2020). Hasilnya kemudian ditentukan sifat curah hujannya terkategori: atas normal, normal atau bawah normal. Kategori sifat atas normal dihitung frekuensinya dan dibandingkan dengan prosentase tertentu sehingga diketahui tingkat risikonya termasuk sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi [8]. Hasil prosentase resiko ini dipetakan dalam bentuk spasial agar mudah dibaca dan terlihat dengan jelas wilayah-wilayah yang mengalami resiko tinggi dan resiko rendah akibat pengaruh *La Nina*.

3. Hasil dan Pembahasan

Dampak *La Nina* terhadap Penambahan Curah Hujan

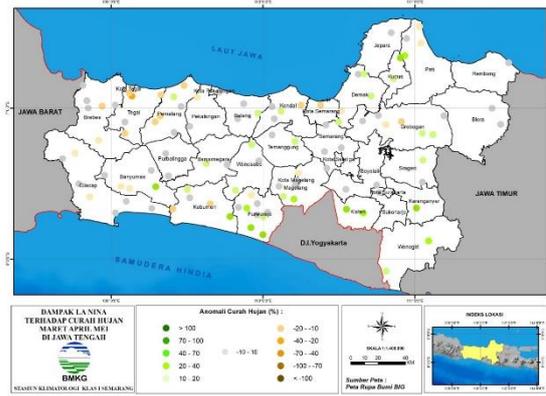
Hasil analisa dampak *La Nina* terhadap curah hujan di wilayah Jawa Tengah ditunjukkan dalam bentuk peta spasial. Dampak terhadap curah hujan disajikan dalam periode 3 bulanan yakni periode Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA) dan September-Oktober-Nopember (SON).



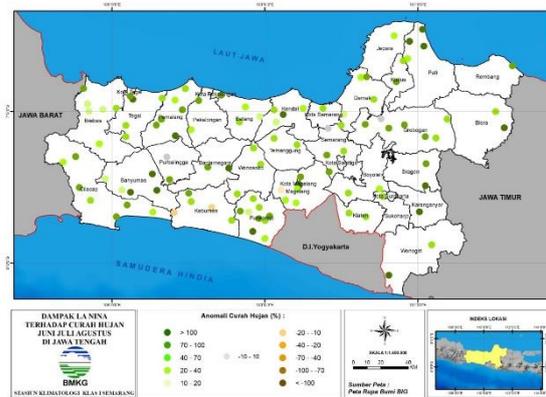
Gambar 3. Peta dampak *La Nina* terhadap curah hujan periode DJF.

Gambar 3 memperlihatkan dampak *La Nina* terhadap penambahan curah hujan periode DJF di Jawa Tengah secara signifikan terjadi penambahan curah hujan di 69 titik pos hujan. Penambahan curah hujan berkisar antara 20% hingga >100% dari normal rata ratanya sebesar 67 mm hingga 382 mm. Penambahan curah hujan signifikan 20 – 70 % terjadi di sebagian wilayah Kab. Cilacap, Brebes, Banyumas, Tegal, Pemalang, Pekalongan, Batang, Kendal, Kota Semarang, Demak, Jepara, Kudus, Pati, Rembang, Blora, Grobogan, Sragen, Boyolali, Karanganyar, Semarang, Magelang, Kebumen, Temanggung, Wonosobo, Banjarnegara, Purworejo dan Purbalingga. Penambahan > 100 % terjadi di sebagian wilayah Kab. Cilacap. Dampak *La Nina* juga secara signifikan mengalami penurunan curah hujan yakni sebagian wilayah Kab. Batang, Cilacap dan Brebes. Pengurangan curah hujan berkisar antara 20-40 % dari rata ratanya yakni sebesar 75 mm hingga 151 mm.

Pada periode MAM sebagaimana ditunjukkan Gambar 4. terdapat 30 titik yang secara signifikan mengalami peningkatan curah hujan. Penambahan curah hujan 20 – 70 % terjadi di sebagian wilayah Kab. Banyumas, Pemalang, Batang, Kendal, Banjarnegara, Kebumen, Temanggung, Wonosobo, Magelang, Purworejo, Demak, Kudus, Pati, Klaten, Grobogan, Sragen, Karanganyar dan Wonogiri. Pengurangan curah hujan signifikan 20 – 40 % terjadi di sebagian wilayah Kab. Cilacap, Tegal, Brebes, Pemalang, Banyumas, Kebumen, Pekalongan, Purworejo, Magelang, Kendal, Kota Semarang, Demak, Pati dan Grobogan. Pengurangan sebesar 10 – 70% terjadi di sebagian Kab. Tegal dan Pemalang; sebagian kecil Kab. Cilacap, Banyumas, Kebumen, Purworejo, Magelang, Brebes, Pekalongan, Kendal, Kota Semarang dan Pati.

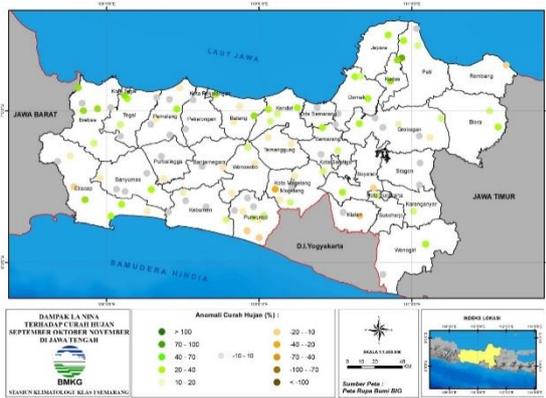


Gambar 4. Peta dampak *La Nina* terhadap curah hujan periode MAM.



Gambar 5. Peta dampak *La Nina* terhadap curah hujan periode JJA.

Gambar 5 merupakan analisa dampak *La Nina* pada periode JJA, menunjukkan bahwa terdapat pengurangan curah hujan signifikan sebesar 20 – 100 % terjadi hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah kecuali sebagian wilayah Kab. Banyumas, Tegal, Pemalang, Kendal, Banjarnegara, Purworejo, Magelang, Pati, Blora, Sragen dan Karanganyar mengalami kenaikan curah hujan sekitar >100 % dan sebagian wilayah Kab. Purbalingga, Grobogan dan Semarang tidak signifikan. Pengurangan curah hujan tertinggi sekitar 10 - 40 % di sebagian wilayah Kab. Kebumen dan Magelang. Pengurangan curah hujan ini diduga disebabkan karena periode JJA secara umum merupakan puncak musim kemarau di Jawa Tengah.



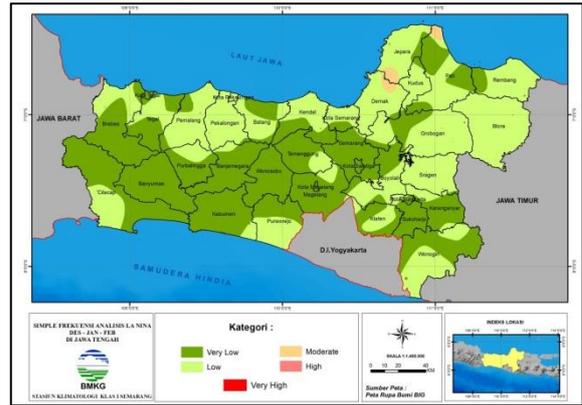
Gambar 6. Peta dampak *La Nina* terhadap curah hujan periode SON.

Sedangkan pada periode SON ditunjukkan Gambar 6. Penambahan curah hujan signifikan sebesar 20 – 70 % terjadi di sebagian wilayah Kab. Cilacap, Brebes, Banyumas, Tegal, Pemalang, Batang, Kebumen, Purworejo, Kendal, Magelang, Semarang, Demak, Grobogan, Jepara, Pati, Kudus, Blora, Boyolali, Sukoharjo, Karanganyar dan Wonogiri. Penambahan curah hujan signifikan sebesar 70 – 100 % terjadi di sebagian wilayah Kab. Pati. Pengurangan curah hujan tertinggi sekitar 10 - 40 % terjadi di sebagian kecil wilayah Kab. Cilacap, Banyumas, Pemalang, Purbalingga, Batang, Grobogan, Banjarnegara, Wonosobo, Kebumen, Purworejo, Temanggung, Klaten, Boyolali dan Rembang.

Puncak penambahan curah hujan sebagai dampak fenomena *La Nina* terjadi pada periode DJF. Hal ini mirip dengan yang disampaikan oleh peneliti sebelumnya [9], [10]. Hasil ini juga memberikan konfirmasi bahwa penambahan curah hujan sebagian besar terjadi di daerah pesisir pantai utara Jawa Tengah [9]–[11]. Lebih lanjut, Rendy, P[9], menjelaskan bahwa, pesisir pantai utara Jawa Tengah termasuk daerah rendah dengan ketinggian dibawah 500 mdpl, hal ini memungkinkan terjadinya peningkatan curah hujan karena daerah konvergensi antar topik (DKAT) penguapan meningkat sehingga potensi konveksi awan yang berubah menjadi hujan cukup tinggi.

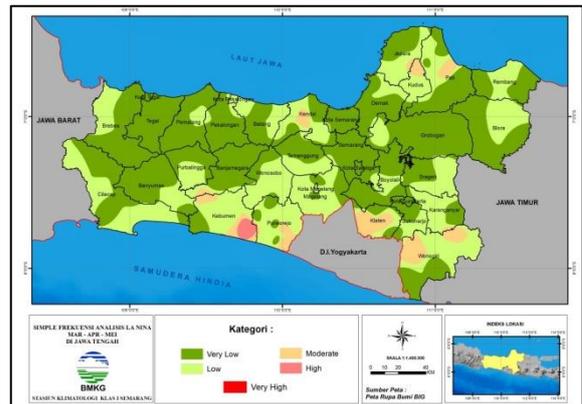
Tingkat Resiko Dampak *La Nina*

Hasil analisa resiko menggunakan frekuensi analisis diklasifikasi kedalam 5 kategori sebagaimana peneliti sebelumnya yakni: sangat rendah (0 - 20%), rendah (20-40%), sedang (40-60%), tinggi (60-80%), dan sangat tinggi (80 - 100%)[8].



Gambar 7. Peta analisis frekuensi sederhana *La Nina* periode DJF.

Selama bulan Desember hingga Februari tahun *La Nina*, kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko sangat rendah hingga rendah terjadi hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah kecuali sebagian kecil wilayah utara Kab. Demak dan Pati; sebagian kecil wilayah selatan Jepara kemungkinan dampak *La Nina* memiliki kategori sedang (lihat gambar 7).

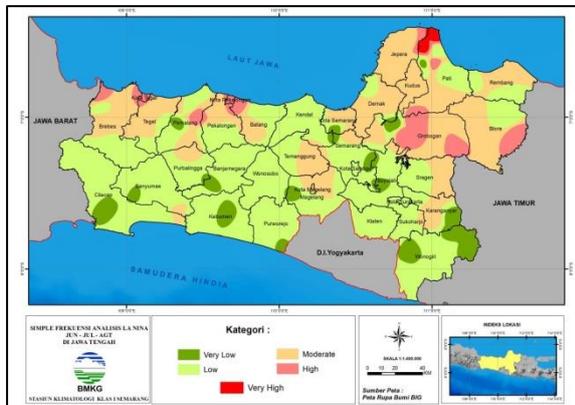


Gambar 8. Peta analisis frekuensi sederhana *La Nina* periode MAM.

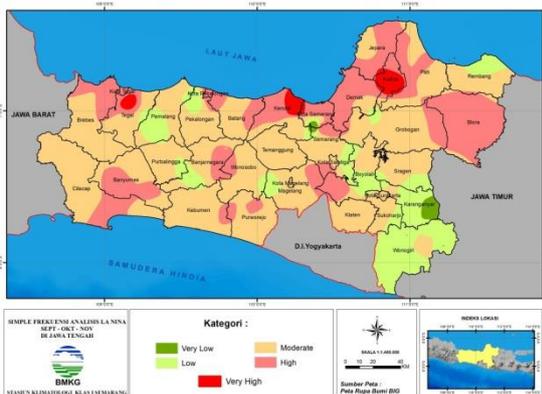
Demikian pula selama Maret hingga Mei kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko sangat rendah hingga rendah terjadi hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah kecuali sebagian kecil wilayah Kebumen dan Kendal; sebagian wilayah tenggara Purworejo; sebagian besar Klaten; sebagian wilayah Kab. Wonogiri, sebagian besar wilayah utara Kab. Kudus; sebagian kecil wilayah utara Kab. Pati kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko sedang (*moderate*). Sedangkan sebagian wilayah tenggara Kab. Kebumen kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko tinggi.

Kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko sedang hingga tinggi pada bulan Juni hingga Agustus bervariasi dari wilayah pantura dan

wilayah timur Jawa Tengah, kecuali sebagian wilayah utara Kab. Pati memiliki resiko sangat tinggi, sedangkan di wilayah lainnya kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko sangat rendah hingga rendah



Gambar 9. Peta analisis frekuensi sederhana *La Nina* periode JJA.



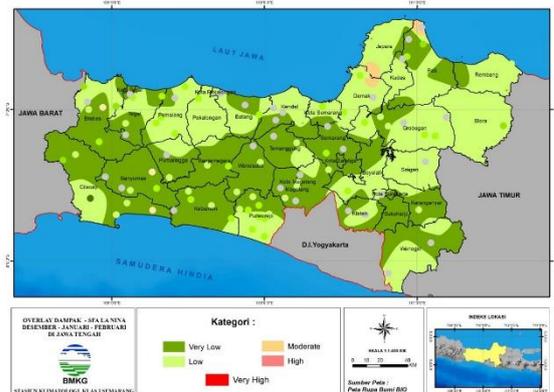
Gambar 10. Peta analisis frekuensi sederhana *La Nina* periode SON.

Pada bulan September hingga November tampaknya merupakan puncak dampak *La Nina* di Jawa Tengah dicirikan dengan kemungkinan resiko sedang hingga tinggi hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah, bahkan di sebagian wilayah utara Kab. Tegal; sebagian wilayah timur laut Kab. Kendal; sebagian wilayah Kab. Kudus kemungkinan dampak *La Nina* dengan resiko sangat tinggi. Wilayah lain secara spot – spot, kemungkinannya umumnya rendah hingga sangat rendah.

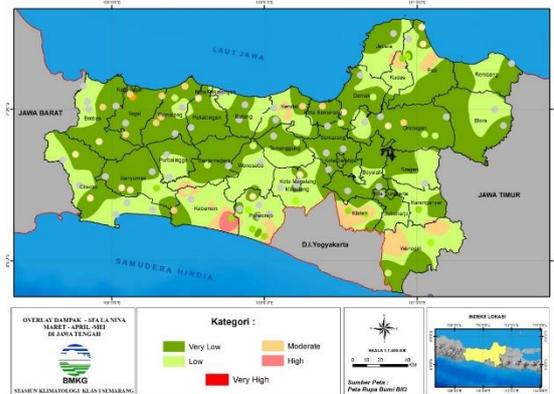
Overlay Penambahan Curah Hujan dan Tingkat Resiko Dampak *La Nina*

Penambahan curah hujan pada periode DJF di wilayah Jawa Tengah sebesar 70 hingga 100% memiliki resiko moderate sedangkan penambahan curah hujan lebih dari 100% di sebagian wilayah Cilacap tidak memiliki resiko tinggi hanya rendah saja. Pada periode MAM resiko sedang penambahan curah hujan berkisar antara 40 sampai 70% sedangkan

risiko tinggi terjadi di wilayah sebagian Tenggara Kebumen dengan penambahan 40 sampai 70%

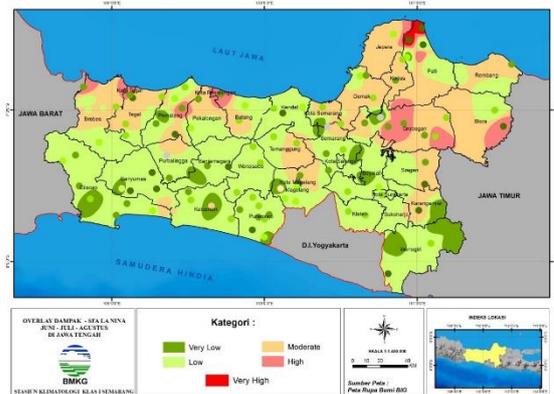


Gambar 11. Overlay DJF



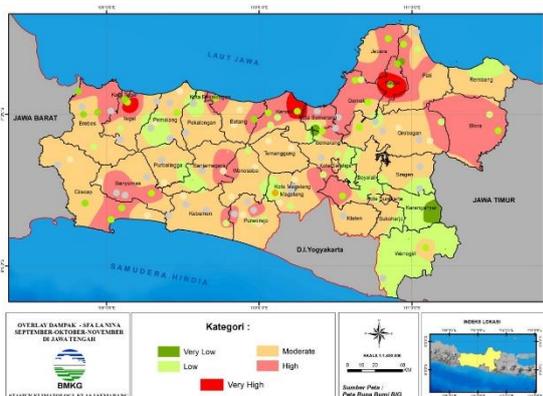
Gambar 12. Overlay MAM

Pada periode JJA penambahan lebih dari 100% dengan resiko sangat tinggi terjadi di wilayah utara Pati. Wilayah lain yang memiliki resiko tinggi kemungkinan penambahan curah hujannya sebesar 70 sampai 100% kecuali di sebagian wilayah timur Blora lebih dari 100%. Wilayah lain yang memiliki resiko sedang kemungkinan terjadi penambahan curah hujan sebesar 40 hingga 70% dan ada beberapa yang lain mencapai lebih dari 100%. Wilayah lainnya walaupun kemungkinan terjadi penambahan curah hujan antara 40 hingga 100% bahkan ada beberapa wilayah yang lebih dari 100% tetapi hanya beresiko rendah hingga sangat rendah.



Gambar 13. Overlay JJA

Selama periode SON walaupun resikonya dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi tetapi kemungkinan terjadi penambahan curah hujannya hanya berkisar 40 hingga 70%



Gambar 14. Overlay SON

4. Kesimpulan

Dalam keseluruhan analisis, dampak *La Nina* di Jawa Tengah memberikan peningkatan curah hujan dengan resiko *moderate* hingga sangat tinggi terkonsentrasi pada periode SON pada sebagian besar wilayah Jawa Tengah dengan peningkatan curah hujan (40-70%). Dampak *La Niña* memberikan peningkatan curah hujan hingga >100% dengan resiko moderate hingga tinggi terjadi pada periode JJA di wilayah pantura barat hingga pantura timur Jawa Tengah. Sedangkan pada periode DJF dan MAM memberikan peningkatan curah hujan (20 – 70%) namun dengan resiko rendah hingga sangat rendah hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah.

Ucapan Terima Kasih

Stasiun Klimatologi Jawa Tengah atas fasilitas pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ningsih, B. H. S., & W. W. Putranto. (2019). Dampak Kejadian *La Niña* Terhadap Curah Hujan Di Kabupaten Jembrana. *Kappa Journal*, 3(1),18–30.
- [2] Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2020). ISSN : 2715-3754-2020 tentang Indikator Utama Pertanian Provinsi Jawa Tengah. BPS
- [3] Irawan, B. (2006). Fenomena Anomali Iklim *El Nino* dan *La Nina*: Kecenderungan Jangka Panjang dan Pengaruhnya terhadap Produksi Pangan. *Forum Peneliti. Agro Ekonomi*, 24(1), 28-45, doi: 10.21082/fae.v24n1..
- [4] Nabilah, F., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2017). Analisis Pengaruh Fenomena *El Nino* dan *La Nina* terhadap Curah Hujan tahun 1998-2016 menggunakan indikator ONI (Oceanic Nino Index) (Studi Kasus: Provinsi Jawa Barat). *Jurnal Geodesi*, 6(4), 402–412.

- [5] Dewi, S. M., & Marzuki. (2020). Analisis Pengaruh Pergeseran Lokasi ENSO terhadap Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2),176–182. Retrieved from: <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/176>.
- [6] Glantz, M. H., Naranjo, L., Baudoin, M. A., & Ramirez, J. (2018). What does it mean to Be *El Niño* ready?. *Atmosphere*, 9(3),1–13. doi: 10.3390/atmos9030094.
- [7] Ramadhan, E. (2017). *Peta Komposit Suhu Permukaan Laut dan Rata-Rata Tekanan Permukaan Laut untuk Kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur Menggunakan Metode Bootstrap*. Thesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Muharsyah, R., & Supari, S. (2021). *Mapping the Risk of La-Niña Impact using Simple Frequency Analysis*. 2nd Int. Conf. Trop. Meteorol. Atmos. Sci. BMKG. Jakarta,.
- [9] Pratama, R. (2011). *Pola Curah Hujan di Pulau Jawa pada Periode Normal, El Nino dan La Nina*. Skripsi, Jakarta: Universitas Indonesia.
- [10] Yunus, R. (2015). *Efek Fenomena Iklim Global dan Topografi Terhadap Pola Distribusi Curah Hujan di Provinsi Jawa Tengah dan D.I Yogyakarta*. Thesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada,.
- [11] Abdullah, S.E.A.N.(2021). Analysis of Relationship of Nino Index 3.4 with Rainfall in Central Java. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 2(5), 24–30.

KAJIAN INDEKS HUJAN EKSTREM DI WILAYAH INDONESIA

STUDY OF EXTREME RAINFALL INDEX IN INDONESIAN REGION

Kiki^{1*}, M. Agung Fauzi², Nunun Nurhayati³, Khairani K.N.A³

^{1,2}BMKG Jakarta, Jl. Angkasa 1 No 2, Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10610

³Prodi Klimatologi Terapan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Babakan Tengah, Kecamatan Dramaga Jawa Barat 16680

*E-mail: kiki@bmgk.go.id

Naskah masuk: 29 Desember 2023 Naskah diperbaiki: 26 Maret 2024 Naskah diterima: 7 Mei 2024

ABSTRAK

Hujan ekstrem didefinisikan sebagai hujan yang terjadi dengan intensitas lebat atau hujan sangat tinggi dalam waktu yang singkat, yang mampu mengakibatkan bencana hidrometeorologi. Kajian ini menganalisis tentang pengaruh hujan ekstrem yang memainkan peran penting pada periode jangka panjang di beberapa tipe iklim yang berbeda, yakni tipe iklim hutan hujan tropis, monsun tropis, serta sabana tropis, dalam periode waktu 30 tahun terakhir, yang masing-masing diwakili Pontianak, Semarang, dan Kupang. Hasil kajian menunjukkan kejadian hujan ekstrem dengan persentase tertinggi ke terendah berturut-turut tercatat di Pontianak, Semarang, dan Kupang, di sepanjang periode kajian. Selanjutnya, berdasarkan analisis tren, diketahui bahwa terdapat tren peningkatan hujan ekstrem ditemui di Pontianak untuk semua indeks hujan ekstrem, tren dominan turun di Kupang, dan tren bervariasi (naik/turun) di Semarang. Temuan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian perubahan iklim di masa depan dan untuk pengembangan strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di Indonesia.

Kata kunci: Hujan, Ekstrem, Indeks, Tren

ABSTRACT

Extreme rainfall is defined as rain that occurs with heavy intensity or very high rainfall in a short period of time, which can lead to hydrometeorological disasters. This study analyzes the influence of extreme rainfall that plays an important role in the long-term period in several different climate types, namely tropical rainforest, tropical monsoon, and tropical savanna climate types, in the last 30 years, represented by Pontianak, Semarang, and Kupang, respectively. The results showed that the highest to lowest percentage of extreme rainfall events were recorded in Pontianak, Semarang and Kupang, respectively, throughout the study period. Furthermore, based on trend analysis, it is known that there is an increasing trend of extreme rainfall found in Pontianak for all extreme rainfall indices, a dominant downward trend in Kupang, and a variable trend (up/down) in Semarang. The findings of this study can be used as a reference for future climate change research and for the development of climate change adaptation and mitigation strategies in Indonesia.

Keywords: Rainfall, Extreme, Index, Trend

1. Pendahuluan

Hujan ekstrem secara umum diartikan sebagai peristiwa hujan yang terjadi dengan intensitas lebat atau hujan sangat tinggi dalam waktu yang singkat. Ada beberapa definisi digunakan

oleh para ahli mengenai curah hujan lebat yang mengakibatkan kondisi cuaca ekstrem. Salah satu definisi yang paling umum adalah curah hujan harian yang melebihi nilai ambang batas tertentu. Nilai ambang batas ini dapat berbeda-beda tergantung pada lokasi dan kondisi iklim

di suatu wilayah. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), curah hujan lebat adalah hujan harian dengan intensitas minimal 150 mm/hari [1]. Frekuensi hujan lebat dan ekstrem di Indonesia cenderung meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan hujan ekstrem terutama terjadi di wilayah dataran tinggi, namun di wilayah dataran rendah memiliki kecenderungan laju penurunan hujan ekstrem [2].

Tipe iklim Köppen-Geiger telah menggambarkan secara umum kondisi iklim di wilayah tropis atau di sekitar khatulistiwa seperti di Indonesia. Diantaranya adalah tipe iklim Af (hutan hujan tropis), Am (monsun tropis), dan Aw (sabana tropis). Klasifikasi iklim tersebut berasal dari parameter rata-rata hujan dan suhu udara tahunan pada periode lampau yang memungkinkan tipe iklim bisa diperbaharui menyesuaikan perubahan kondisi parameter terkini [3]. Hal ini sejalan dengan adanya curah hujan ekstrem yang memiliki tren peningkatan dan penurunan yang melampaui batas tertentu setiap tahunnya di wilayah Indonesia [4].

Beberapa penelitian telah membahas variabilitas curah hujan di wilayah Indonesia yang melibatkan dampak cuaca ekstrem dengan menghubungkannya pada indeks hujan ekstrem seperti PrcpTOT, RX5day, R20mm, R50mm, dan lain sebagainya. Namun kurang banyak perhatian yang diberikan pada indeks curah hujan ekstrem dengan membandingkannya di wilayah tipe iklim yang berbeda-beda. Pada kajian ini akan mencoba untuk meningkatkan pemahaman kita tentang pengaruh hujan ekstrem yang memainkan peran penting pada periode jangka panjang di beberapa tipe iklim yang berbeda. Kami juga menganalisis bagaimana tren indeks hujan ekstrem yang berbeda dalam memodulasi hujan ekstrem pada tipe iklim Af (Pontianak), Am (Semarang), dan Aw (Kupang). Hal ini mencakup investigasi perubahan kontribusi relatif dari frekuensi dan intensitas hujan ekstrem terhadap curah hujan total pada ambang batas yang berbeda dengan ketinggian yang berbeda. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran umum kondisi hujan ekstrem yang terjadi pada tipe iklim berbeda sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan untuk upaya aksi mitigasi dan adaptasi dalam mengurangi dampak hujan ekstrem.

Iklim Ekstrem. Iklim ekstrem adalah peristiwa cuaca yang sangat jarang terjadi dan biasanya terjadi di luar rentang normal yang diharapkan [5]. Contoh iklim ekstrem meliputi badai, banjir,

kekeringan, gelombang panas, dan badai salju yang sangat parah. Perubahan iklim dapat mempengaruhi frekuensi, intensitas, dan durasi dari peristiwa iklim ekstrem, sehingga memperburuk dampaknya pada lingkungan dan masyarakat. Iklim ekstrem dapat memiliki dampak yang signifikan pada lingkungan dan manusia dan dapat mempengaruhi kehidupan manusia, termasuk kesehatan, keamanan pangan, dan infrastruktur. Studi tentang iklim ekstrem penting untuk memahami perubahan iklim dan membantu dalam pengambilan keputusan untuk mengurangi dampak negatifnya [6]. Beberapa dampak iklim ekstrem yang umum meliputi:

1. Banjir dan longsor: Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan banjir dan longsor, yang dapat merusak properti dan infrastruktur, serta mengancam keselamatan manusia.
2. Kekeringan: Kekurangan curah hujan yang signifikan dapat menyebabkan kekeringan, yang dapat mempengaruhi pertanian, menyebabkan kekurangan air, dan mengancam keberlangsungan hidup manusia dan hewan.
3. Badai dan angin kencang: Badai dan angin kencang dapat merusak properti dan infrastruktur, serta mengancam keselamatan manusia.
4. Gelombang panas: Gelombang panas dapat menyebabkan kematian dan masalah kesehatan lainnya, terutama pada orang yang rentan seperti orang tua dan anak-anak.
5. Badai salju dan cuaca dingin: Badai salju dan cuaca dingin yang ekstrem dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti hipotermia dan frostbite, serta merusak properti dan infrastruktur.

Dalam jangka panjang, iklim ekstrem juga dapat mempengaruhi perubahan iklim dan lingkungan secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk memahami dan mengatasi dampak cuaca ekstrem untuk melindungi lingkungan dan manusia.

Indeks Hujan Ekstrem. Indeks iklim ekstrem adalah serangkaian parameter yang digunakan untuk mengukur perubahan iklim dan dampaknya pada ekstrem iklim seperti gelombang panas, kekeringan, banjir, dan badai. Indeks ini dikembangkan oleh Joint CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) dan mencakup 27 indeks yang mengukur frekuensi, intensitas, dan durasi dari peristiwa iklim ekstrem [5]. Indeks hujan ekstrem yang dianalisis dalam penelitian ini sebanyak 13

indeks, selengkapnya disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Indeks hujan ekstrem yang digunakan dalam kajian ini berdasarkan referensi dari *Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDI) beserta definisi dan satuan

Indeks	Definisi	Notasi	Satuan
PRCPTOT	Jumlah curah hujan tahunan dengan RR \geq 1 mm / hari	RR \geq 1 mm	mm
WDays	Jumlah hari hujan (RR > 1)	RR > 1 mm	hari
RX1day	Jumlah curah hujan tertinggi dalam periode satu hari. Misalkan RR _{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Maka nilai maksimum 1 hari untuk periode j adalah:	RX1day = max j = (RR _{ij})	mm
RX5day	Jumlah curah hujan tertinggi dalam periode lima hari. Misalkan RR _{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Maka nilai maksimum 5 hari untuk periode j adalah:	RX5day = max j = (RR _{ij})	mm
R10mm	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) \geq 10 mm. Misalkan RR _{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	RR _{ij} \geq 10 mm	hari
R20mm	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) \geq 20 mm. Misalkan RR _{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	RR _{ij} \geq 20 mm	hari
R50mm	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) \geq 50 mm. Misalkan RR _{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	RR _{ij} \geq 50 mm	hari
R100mm	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) \geq 100 mm. Misalkan RR _{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	RR _{ij} \geq 100 mm	hari
R150mm	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) \geq 150 mm. Misalkan RR _{ij} adalah	RR _{ij} \geq 150 mm	hari

CDD	jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana: Panjang maksimum hari kering (RR < 1 mm). Misalkan RR _{ij} adalah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari terbanyak yang berurutan di mana:	RR _{ij} < 1 mm	hari
CWD	Panjang maksimum periode hari hujan (RR \geq 1 mm). Misalkan RR _{ij} adalah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari terbanyak yang berurutan di mana:	RR _{ij} > 1 mm	hari
R95pTOT	Curah hujan akibat hari yang sangat basah (> persentil ke-95). Misalkan RR _{wj} adalah jumlah curah hujan harian pada hari basah w RR mm (\geq 1.0) dalam periode j dan RR _{wn95} menjadi persentil ke-95 dari curah hujan pada hari basah. Jika W menunjukkan jumlah hari basah dalam periode tersebut, maka:	dengan RR _{wj} > RR _{wn95}	mm
R99pTOT	Curah hujan akibat hari yang sangat basah (> persentil ke-99). Misalkan RR _{wj} adalah jumlah curah hujan harian pada hari basah w RR mm (\geq 1.0) dalam periode j dan RR _{wn99} menjadi persentil ke-99 dari curah hujan pada hari basah. Jika W menunjukkan jumlah hari basah dalam periode tersebut, maka:	R99pj =	mm

Jenis iklim di Indonesia berdasarkan Köppen-Geiger. Iklim di Indonesia dipengaruhi oleh sistem monsun, dengan musim hujan dan kemarau. Musim hujan terjadi dari September hingga Februari, dengan puncak curah hujan pada Januari, sedangkan musim kemarau terjadi dari Maret hingga Agustus, memuncak pada bulan Agustus [7]. Orang awam mengenal iklim tropis sebagai daerah dengan suhu tinggi, curah hujan tinggi, dikelilingi oleh hutan lebat, dan mendapatkan radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun.

Klasifikasi iklim Köppen adalah salah satu sistem klasifikasi iklim yang paling banyak digunakan. Sistem ini dikembangkan oleh Wladimir Köppen, seorang ahli iklim dari Jerman, sekitar tahun 1884 (dengan beberapa perubahan yang ditambahkan pada tahun 1918 dan 1936) [8]. Berdasarkan kategori iklim Köppen, iklim tropis dibagi menjadi 3, yaitu Af, Am, dan Aw. Tipe iklim Af adalah kategori Iklim Hutan Hujan Tropis, di Indonesia contohnya adalah Kota Pontianak. 'Am' adalah Iklim Monsun Tropis, di Indonesia contohnya adalah kota Semarang. Sedangkan 'Aw' adalah Iklim Sabana Tropis, di Indonesia tipe iklim ini ditunjukkan oleh kota Kupang [9].

2. Metode Penelitian

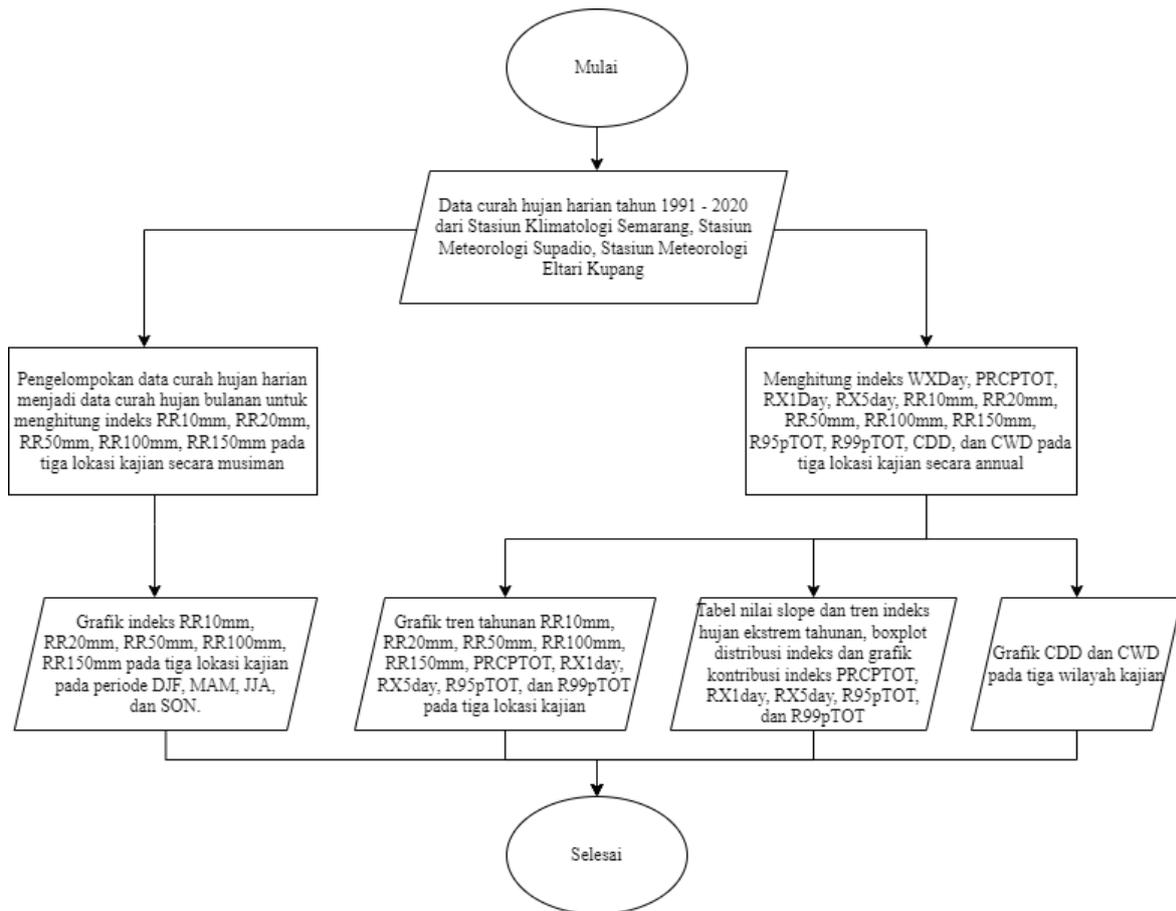
Lokasi. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan tipe iklim yang dimiliki, yaitu Kota Semarang, Pontianak, dan Kupang, selengkapnya disajikan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Lokasi titik kajian dalam penelitian

Nama	Provinsi	Lintang (°)	Bujur (°)	Elevasi (m)	Tipe Iklim
Stasiun Klimatologi Semarang	Jawa Tengah	-6,98	110,3	3	Am
Stasiun Meteorologi Supadio	Kalimantan Barat	-0,14	109,4	3	Af
Stasiun Meteorologi Eltari Kupang	Nusa Tenggara Timur	-10,16	123,6	108	Aw

Data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan harian periode 1 Januari 1991 s.d. 31 Desember 2020 di 3 lokasi titik kajian.

Indeks. Indeks hujan ekstrem yang dianalisis dalam penelitian ini sebanyak 13 indeks yaitu: WXDay; PRCPTOT; RX1Day; RX5day; R95pTOT; R99pTOT; RR10mm; RR20mm; RR50mm; RR100mm; RR150mm; CWD; dan CDD.

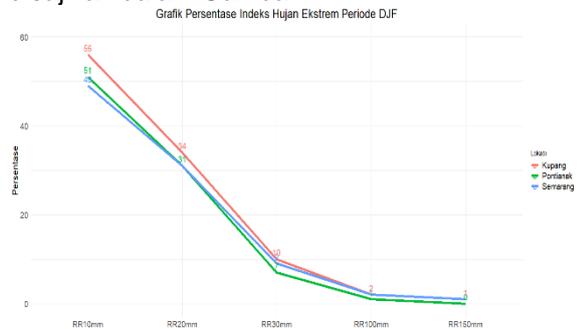


Gambar 1. Prosedur pengolahan data

3. Hasil dan Pembahasan

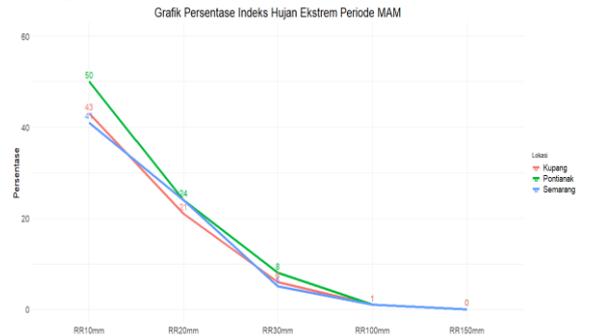
Indeks RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm Permusim. Indeks RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm merupakan indeks hujan ekstrem yang menggambarkan nilai frekuensi kejadian hujan harian dengan nilai lebih dari sama dengan masing-masing intensitas (10 mm, 20 mm, 50 mm, 100 mm, dan 150 mm), yang mengacu ke ETCCDI. Secara umum berdasarkan hasil analisis kelima indeks hujan ekstrem ini di 3 titik kajian yang mewakili 3 tipe iklim berbeda menunjukkan bahwa di semua lokasi kejadian kelas intensitas hujan yang dominan adalah hujan intensitas ≥ 10 mm, dengan kisaran persentase antara 39-49%. Diikuti dengan intensitas ≥ 20 mm dengan kisaran 20-26%. Sementara untuk 3 kelas intensitas lainnya, yaitu lebat-ekstrem, berkisar antara 0.1-7%. Urutan titik kajian dengan persentase tertinggi hingga terendah adalah Pontianak, Semarang, dan Kupang, kecuali untuk kelas intensitas RR150mm yang memiliki urutan Pontianak, Kupang, Semarang, atau jika dikaitkan dengan masing-masing tipe iklimnya adalah tipe hutan hujan tropis (Af), iklim sabana tropis (Aw), dan iklim monsun tropis (Am).

Di periode DJF, indeks hujan ekstrem di ketiga titik kajian didominasi hujan intensitas ringan hingga sedang (RR10mm & RR20mm), dengan nilai persentase antara 31-56% dari total jumlah hari hujannya. Sementara intensitas tinggi hingga ekstrem (RR50mm, RR100mm, RR150mm) berkisar antara 0.1-10%. Secara kualitatif titik kajian dengan nilai persentase tertinggi hingga terendah untuk kelas intensitas ringan-sedang secara berturut-turut adalah Kupang, Pontianak, Semarang, sementara untuk kelas intensitas lebat-ekstrem adalah Kupang, Semarang, Pontianak. Selengkapnya disajikan dalam Gambar 2.



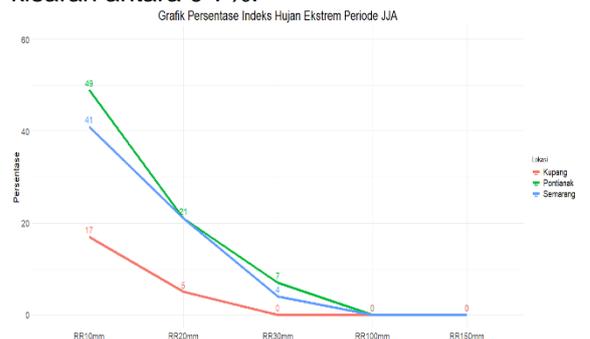
Gambar 2. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode DJF

Di periode MAM atau transisi I, kelas intensitas ringan-sedang memiliki kisaran persentase antara 21-50%, dengan urutan titik kajian dengan persentase tertinggi hingga terendah adalah Pontianak, Kupang, Semarang (RR10mm), dan Pontianak, Semarang, Kupang (RR20mm). Sementara untuk kelas intensitas lebat-ekstrem, berkisar antara 0.1-8%, dengan urutan prosentase tertinggi hingga terendah Pontianak, Kupang, Semarang (RR50mm), dan Kupang, Pontianak, Semarang (RR100mm, RR150mm). Selengkapnya disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode MAM

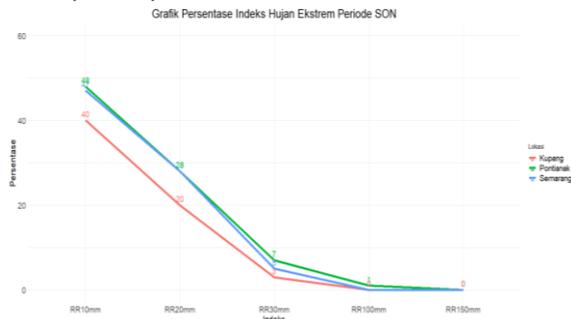
Pada periode JJA, sebagaimana disajikan dalam Gambar 4, nilai persentase hujan harian tetap didominasi kelas intensitas 10 mm (17-49%) & 20 mm (5-21 mm). Dengan selisih yang signifikan antara Semarang (21 & 41%), dan Pontianak (21 & 49 %) jika dibandingkan dengan Kupang (5 & 17%). Begitupun untuk kelas intensitas lebat-ekstrem, persentase tertinggi - terendah berturut-turut adalah Pontianak, Semarang, dan Kupang, dengan kisaran antara 0-7%.



Gambar 4. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode JJA

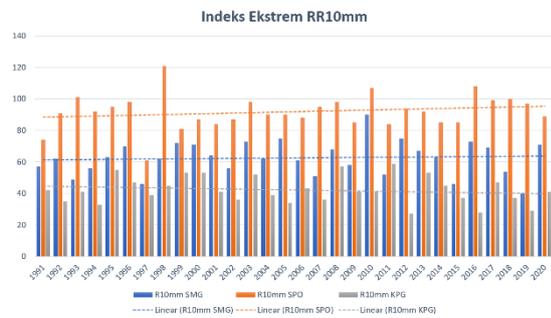
Di periode Transisi II, SON, persentase hujan di semua kelas intensitas masih tetap dominan untuk kelas ringan-sedang, dengan kisaran antara 20-47%, dengan urutan tertinggi hingga terendah adalah Pontianak, Semarang, dan Kupang. Pola yang sama ditemui untuk kelas

intensitas lebat hingga ekstrem, dengan kisaran persentase antara 0-7%. Selengkapnya ditampilkan pada Gambar 5.

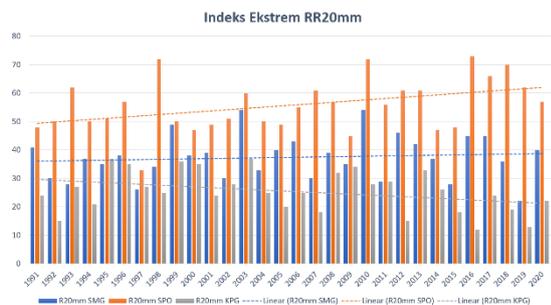


Gambar 5. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode SON

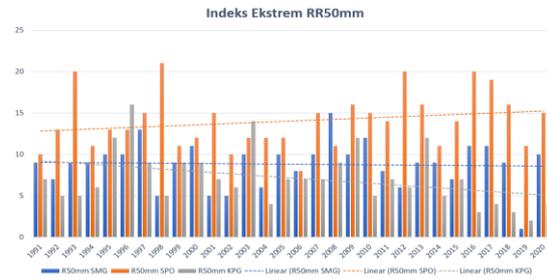
Tren indeks RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm. Hasil analisis tren kelima indeks hujan ekstrem dalam 30 terakhir terakhir menunjukkan hasil yang persisten untuk Kota Pontianak, yakni tren peningkatan frekuensi kejadian hujan di semua kelas intensitas. Sementara untuk Kota Semarang, tren peningkatan terlihat di frekuensi kejadian hujan intensitas 10 mm dan 20 mm, dan tren menurun untuk frekuensi kejadian hujan intensitas 50 mm, 100 mm, serta 150 mm. Sedangkan di Kota Kupang, tren dominan menurun terlihat di semua frekuensi intensitas hujan. Selengkapnya disajikan pada Gambar 6 hingga 10 berikut ini.



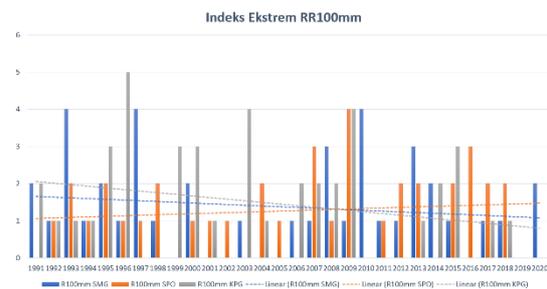
Gambar 6. Tren indeks ekstrem RR10mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



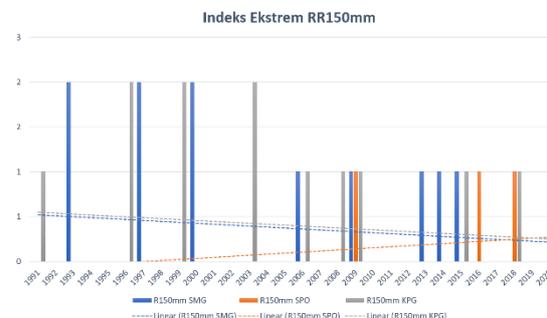
Gambar 7. Tren indeks ekstrem RR20mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



Gambar 8. Tren indeks ekstrem RR50mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



Gambar 9. Tren indeks ekstrem RR100mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



Gambar 10. Tren indeks ekstrem RR150mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)

Tren indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT. Indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT merupakan indeks hujan ekstrem yang menggambarkan nilai intensitas hujan di periode tertentu dengan formula perhitungan seperti pada Tabel 2. Indeks-indeks ini juga sering digunakan untuk mengidentifikasi tren jangka panjang dari hujan ekstrem dengan melihat komponen intensitas hujan pada dataset multi-tahunan. Hasil dari plot tren

PRCPTOT menunjukkan bahwa ada kecenderungan umum terhadap berkurangnya curah hujan total di semua skala waktu. Tingkat penurunan terbesar terlihat pada skala tahunan wilayah Kupang (-16 mm/tahun) dan diikuti oleh wilayah Semarang (-0,76 mm/tahun). Namun, berbeda dengan Pontianak yang memiliki tren positif dengan laju peningkatan curah hujan total tahunan sebesar 17 mm/tahun.

Pada indeks RX1day dan RX5day, terdapat perbedaan signifikan antara tren laju penurunan curah hujan ekstrem di wilayah Kupang dengan tipe iklim sabana tropis dan tren laju peningkatan hujan ekstrem di wilayah Pontianak dengan tipe iklim hutan hujan tropis. Meskipun Semarang cenderung secara umum menunjukkan tren penurunan hujan ekstrem namun tidak signifikan secara statistik. Nilai *slope* dan tren dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *slope* dan *tren* indeks hujan ekstrem tahunan periode 1991-2020 di tiga wilayah kajian. SS menunjukkan tren signifikan statistik pada 5% tingkat signifikan (P-Value <0.5). SNS menunjukkan tren non-signifikan statistik pada 5% tingkat signifikan (P-Value <0.5).

Stasiun	Indeks Hujan Ekstrem									
	PRCPTOT		RX1day		RX5day		R95pTOT		R99pTOT	
	Slope	Trend	Slope	Trend	Slope	Trend	Slope	Trend	Slope	Trend
Kupang	-16	SS	-0.35	SS	-1	SS	-13	SS	-4.1	SNS
Semarang	-0.76	SNS	0.1	SNS	-0.3	SNS	-3.5	SNS	-2.5	SNS
Pontianak	17	SS	0.13	SNS	0.61	SS	9.2	SNS	2.5	SNS

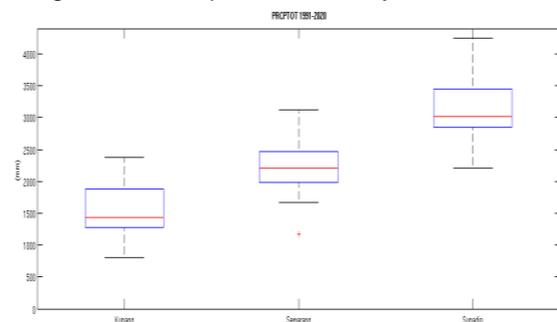
Tabel 3 menampilkan tren curah hujan total tahunan yang teridentifikasi bahwa jumlah curah hujan total tahunan (PRCPTOT) menurun di Kupang dan Semarang namun meningkat di Pontianak. Jumlah curah hujan rata-rata tahunan di Kupang menurun dan tren penurunannya signifikan secara statistik. Sedangkan di Semarang menurun namun tidak signifikan. Berbeda halnya dengan Pontianak memiliki tren peningkatannya signifikan secara statistik. Laju tren penurunan curah hujan rata-rata tahunan bervariasi dari -0.76 mm/tahun hingga -16 mm/tahun sedangkan laju tren peningkatan 17 mm/tahun untuk Pontianak.

Kemudian dapat ditunjukkan tren indeks curah hujan berbasis intensitas yaitu indeks R95pTOT menunjukkan tren yang menurun di Kupang dan Semarang dengan tren yang signifikan secara statistik di Kupang berkisar -13 mm/tahun dan -3.5 mm/tahun di Semarang dengan tren tidak terlalu signifikan secara statistik. Hanya satu stasiun yang mengalami tren peningkatan, dengan laju 9.2 mm/tahun. R99pTOT menunjukkan tren penurunan di Kupang dan Semarang berkisar antara -2.5 mm/tahun hingga -4.1 mm/tahun. Namun Pontianak menunjukkan laju tren peningkatan berkisar 2.5 mm/tahun.

Semua tren secara statistik tidak signifikan untuk indeks R99p. RX1Day menurun secara signifikan di Kupang berkisar -0.35 mm/tahun, namun Semarang dan Pontianak sedikit meningkat namun tidak signifikan dengan tingkat perubahan berkisar antara 0.1 hingga 0.13 mm/tahun. Indeks RX5Day menurun secara signifikan di Kupang, dengan tingkat

perubahan -1 mm/tahun. Sedangkan Semarang menurun namun tidak signifikan di nilai -0.3 mm/tahun. Sebaliknya Pontianak meningkat secara signifikan dengan tingkat perubahan 0.61 mm/tahun.

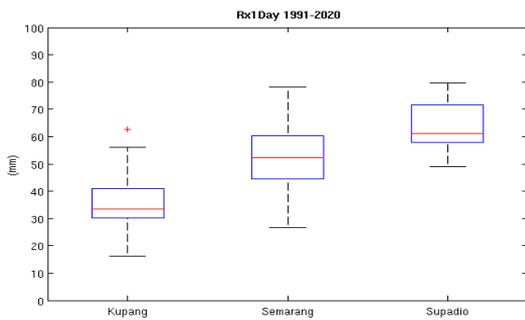
Distribusi indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT. Intensitas hujan ekstrem dapat dilihat pada indeks PRCPTOT seperti di Gambar 11, dimana wilayah pengamatan memiliki distribusi umum yang tercakup dalam interkuartil boxplot dengan rentang nilai yang dapat dijadikan sebagai threshold atau batasan acuan. Kupang memiliki interkuartil dengan kisaran antara 1300 mm dan 1900 mm yang merupakan terendah dibandingkan dengan Semarang dan Pontianak. Interkuartil Pontianak di kisaran 2700 mm hingga 3500 mm sehingga menjadi yang tertinggi pada indeks PRCPTOT ini. Hal ini menjadi gambaran umum yang dapat mengkonfirmasi tipe iklim di wilayah tersebut.



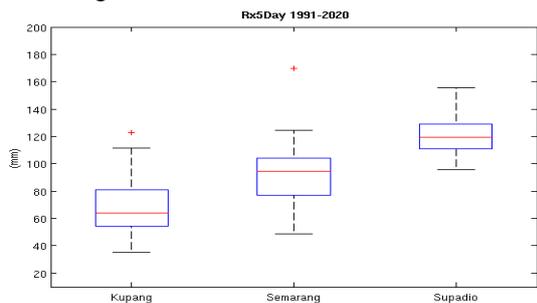
Gambar 11. Boxplot Indeks hujan ekstrem PRCPTOT periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak

Kejadian curah hujan ekstrem dalam waktu singkat (RX1day dan RX5day) pada Gambar 12

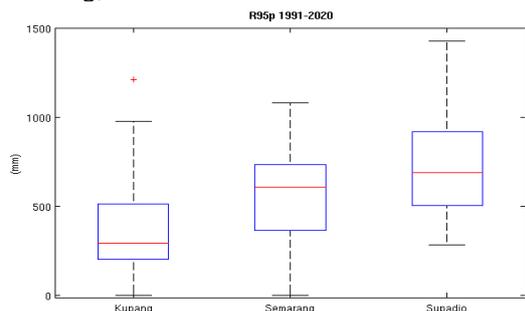
& Gambar 13 menunjukkan interkuartil yang lebih rendah di Kupang dengan kisaran antara 30 mm (RX1day) dan 42 mm (RX5day). Sedangkan wilayah Pontianak memiliki interkuartil tertinggi dibanding 2 wilayah lainnya. Rentang interkuartil Pontianak di kisaran 58 mm (RX1day) dan 72 mm (RX5day), hampir dua kali lipat dari interkuartil Kupang. Sedangkan median 62 mm adalah tertinggi untuk RX1day dan 120 mm untuk RX5day. Gambaran boxplot pada interkuartil tertinggi hingga terendah pada Indeks RX1day dan RX5day secara berurutan yaitu Pontianak, Semarang dan terendah di Kupang. Hal ini dapat dikonfirmasi juga pada Gambar 14 dan Gambar 15 yang menunjukkan indeks hujan ekstrem R95pTOT dan R99pTOT memiliki distribusi interkuartil yang sama. Pada indeks ini memiliki perbedaan besar antara nilai maksimum dengan minimum yang menunjukkan tingginya variabilitas antartahunan.



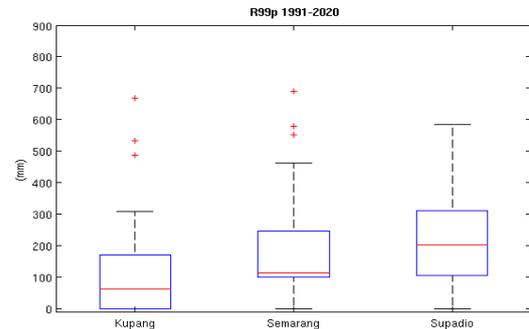
Gambar 12. Boxplot Indeks hujan ekstrem RX1day periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.



Gambar 13. Boxplot Indeks hujan ekstrem RX5day periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.



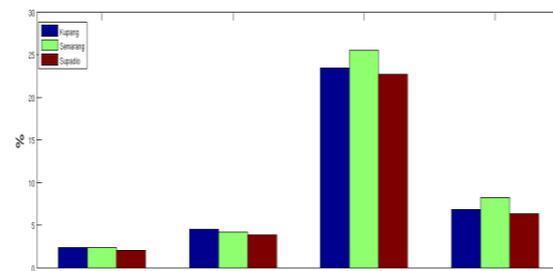
Gambar 14. Boxplot Indeks hujan ekstrem R95pTOT periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.



Gambar 15. Boxplot Indeks hujan ekstrem R99pTOT periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.

Kontribusi indeks RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT terhadap PRCPTOT.

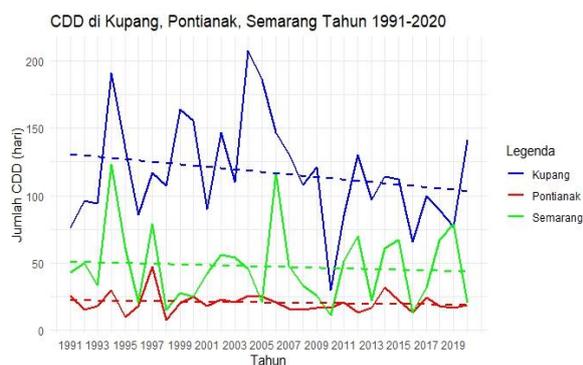
Nilai persentase kontribusi relatif hujan ekstrem tertinggi terjadi di indeks R95pTOT, dimana berkisar 23-26% terhadap jumlah total hujannya. Hal ini mengkonfirmasi bahwa dari indeks tersebut, rasio intensitas hujan ekstrem 1 berbanding 4 dari total hujannya. Kemudian diikuti persentase kontribusi relatif hujan ekstrem yang rendah terhadap jumlah total hujannya di indeks R99pTOT, RX5day, dan RX1day yang masing-masing berkisar 6-8%, 3-5%, dan 2-3%. Secara umum untuk wilayah Semarang lebih tinggi persentase kontribusi relatif hujan ekstremnya dibanding 2 wilayah lainnya yaitu Kupang dan Pontianak. Untuk kasus ini jika dikaitkan dengan kondisi topografi dimana Semarang memiliki elevasi lebih rendah dibanding 2 wilayah lainnya tersebut, maka persentase kontribusi relatif intensitas hujan ekstremnya lebih meningkat seiring dengan elevasi wilayah yang lebih rendah. Namun, hal ini perlu diteliti lebih lanjut mengenai hubungan antara topografi dan hujan ekstrem. Selengkapnya disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Kontribusi relatif (%) hujan ekstrem terhadap jumlah total hujan pada indeks RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT periode 1991-2020 di Kupang (biru), Semarang (hijau), dan Pontianak (cokelat).

Consecutive Dry Days (CDD) dan Consecutive Wet Days (CWD). *Consecutive dry days* (CDD) merupakan jumlah hari terbanyak berturut-turut yang dihitung dalam satu tahun dengan ambang batas hujan di bawah 1 mm [10][11][12]. Perhitungan CDD merupakan salah satu indeks dalam perhitungan curah hujan ekstrem yang penting untuk dilakukan karena memiliki keterlibatan yang signifikan terhadap sumber daya air dan pertanian pada suatu wilayah. Kondisi yang kering berkepanjangan dapat mengakibatkan berkurangnya hasil panen dan meningkatnya kekurangan air [12]. Indeks CDD yang menunjukkan derajat kekeringan juga berpotensi sebagai indikator kekeringan (CDD yang berasosiasi dengan kekeringan atau CDDd) [10].

Nilai CDD pada ketiga daerah kajian pada tahun 1991 - 2020 ditunjukkan melalui Gambar 17. Nilai CDD secara keseluruhan mempresentasikan kondisi kering di masing-masing wilayah kajian, dengan kondisi terkering hingga terbasah secara berurutan yaitu daerah Kupang, Semarang, dan Pontianak. Jumlah CDD tertinggi pada daerah Kupang mencapai 208 hari yang terjadi pada tahun 2004, daerah Semarang dengan 123 hari pada tahun 1994, dan daerah Pontianak dengan 47 hari pada tahun 1997. Sedangkan jumlah CDD terendah pada daerah Kupang mencapai 30 hari yang terjadi pada tahun 2010, daerah Semarang dengan 11 hari pada tahun 2010, dan daerah Pontianak dengan 8 hari pada tahun 1998.

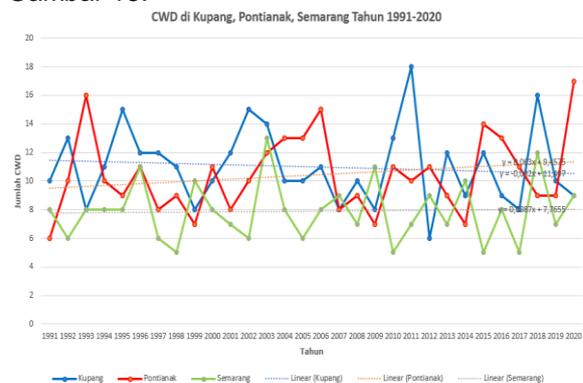


Gambar 17. Grafik nilai CDD di Kupang, Pontianak, Semarang pada tahun 1991-2020

Ketiga daerah kajian memiliki nilai tren yang menurun dalam jangka waktu 30 tahun, dengan nilai tren sebesar -0.9404 untuk daerah Kupang dan -0.2498 untuk daerah Semarang, dan -0.1152 untuk daerah Pontianak. Nilai tren CDD yang menurun menunjukkan ketiga titik tersebut menjadi semakin basah dalam periode waktu 1991 - 2020. Namun, hal tersebut belum bisa digunakan sebagai acuan bahwa masing-

masing wilayah tersebut mengalami kondisi yang lebih basah karena masing-masing sumber data berasal dari satu titik. Data dari satu titik yang diperoleh oleh satu alat penakar curah hujan hanya mempresentasikan satu area yang kecil [10].

Sementara untuk indeks CWD, nilai rata-rata CWD di wilayah Semarang sebesar 8 hari dengan nilai maksimum CWD sebesar 13 hari terjadi pada tahun 2003 (17/12/2003 – 29/12/2003) dan minimum sebesar 6 hari yang terjadi tahun 1998, 2010, 2015 dan 2017. Kemudian berdasarkan tren, CWD di Semarang cenderung persisten. Penurunan tren indeks curah hujan mengakibatkan menurunnya jumlah curah hujan pada suatu wilayah. Penurunan tren yang signifikan terlihat pada indeks PRCPTOT dimana nilai PRCPTOT menurun di Kupang dan Semarang tetapi meningkat di Pontianak, selengkapnya di Gambar 18.



Gambar 18. Grafik nilai CWD di Kupang, Pontianak, Semarang pada tahun 1991-2020

Terjadinya penurunan dan peningkatan tren pada indeks PRCPTOT berimplikasi pada indeks CDD dan CWD. Kenaikan tren indeks CDD misalnya pada daerah Kupang akan menurunkan jumlah peristiwa hujan dengan intensitas 10 mm (R10mm), 20 mm per hari (R20mm), 50 mm per hari (RR50mm), 100 mm perhari (RR100mm) dan 150 mm (RR150mm). Selain itu, dengan meningkatnya jumlah deret hari kering yang terjadi maka jumlah peristiwa hujan ekstrem (R95p dan R99p) akan berkurang.

4. Kesimpulan

Beberapa poin yang dapat ditarik sebagai kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan diatas yaitu:

1. Berdasarkan hasil analisis indeks hujan ekstrem RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm, secara umum menunjukkan Kota Pontianak memiliki

persentase frekuensi kejadian tertinggi dibandingkan Kota Semarang, dan Kota Kupang. Secara kuantitatif relatif tidak jauh berbeda, kecuali untuk periode musim JJA, yang memiliki selisih persentase yang signifikan antara Pontianak, dan Semarang, dengan Kupang. Jika dikaitkan dengan tipe iklim dari ketiga titik kajian, maka dapat disimpulkan bahwa tipe iklim dengan persentase kelima indeks diatas dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut adalah tipe iklim hutan hujan tropis (Af), iklim sabana tropis (Aw), dan iklim monsun tropis (Am). Sementara tren kelima indeks hujan ekstrem ini dalam 30 tahun terakhir adalah meningkat (Pontianak (semua indeks), dan Semarang (RR10mm & RR20mm)), serta menurun (Kupang (semua indeks), dan Semarang (RR50mm, RR100mm, RR150mm)).

2. Intensitas hujan ekstrem dari hasil tren indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT menunjukkan bahwa adanya perbedaan signifikan antara tren laju penurunan curah hujan ekstrem di wilayah Kupang yang memiliki tipe iklim sabana tropis dengan tren laju peningkatan hujan ekstrem di wilayah Pontianak yang memiliki tipe iklim hutan hujan tropis. Namun, Semarang cenderung secara umum terdapat tren penurunan hujan ekstrem namun tidak signifikan secara statistik.
3. Interkuartil boxplot pada indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT dapat mengkonfirmasi tipe iklim di wilayah kajian ini dimana interkuartil tertinggi hingga terendah secara berurutan yaitu Pontianak (Af), Semarang (Am), dan terendah di Kupang (Aw). Distribusi kuartil pada indeks ini memiliki perbedaan besar antara nilai maksimum dengan minimum yang menunjukkan tingginya variabilitas antar-tahunan.
4. Nilai persentase kontribusi relatif hujan ekstrem tertinggi terjadi di indeks R95pTOT, dimana berkisar 23-26% terhadap jumlah total hujannya. Secara umum Semarang lebih tinggi persentase kontribusi relatif hujan ekstremnya dibandingkan dengan Kupang dan Pontianak dimana hal ini menunjukkan persentase kontribusi relatif intensitas hujan ekstremnya lebih meningkat seiring dengan elevasi wilayah yang lebih rendah.
5. Indeks CDD berbanding terbalik dengan indeks CWD. Indeks CDD mengalami penurunan yang menunjukkan deret hari kering semakin berkurang sementara deret hari basah yang didefinisikan pada CWD

mengalami peningkatan, kecuali di Kupang, dalam periode waktu 1991-2020. Nilai CDD dengan kondisi terkering hingga terbasah secara berurutan yaitu daerah Kupang, Semarang, dan Pontianak, sedangkan nilai CWD dengan kondisi terbasah sampai terkering yaitu Pontianak, Semarang, Kupang.

Daftar Pustaka

- [1] BMKG. (2010). *Peraturan Kepala BMKG No. KEP. 009 tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem*. Jakarta:BMKG.
- [2] Nugroho, S., Febriamansyah, R., Ekaputra, E., G., & Gunawan, D. (2019). Analisis iklim ekstrim untuk deteksi perubahan iklim di Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 17(1), 7-14.
- [3] Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 11, 1163-1644.
- [4] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2018). *Proyeksi Iklim Atmosferik*. Jakarta: BPN
- [5] World Meteorological Organisation. (2009). *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of inform decisions for adaptation*. WCDMP-No. 72. Geneva (CH): WMO.
- [6] Kurniadi, A., Weller, E., Min, S. K., & Seong, M.G. (2021). Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. *Int J Climatol*. 41: 3640-3656. doi: 10.1002/joc.7040.
- [7] Lestari, S., King, A., Vincent, C., Karoly, D., & Protat, A. (2019). Seasonal dependence of rainfall extremes in and around Jakarta, Indonesia. *Weather and Climate Extremes*, 24, 1-13. doi: 10.1016/j.wace.2019.100202.
- [8] Hess, D., & Tassa, D. (2017). *McKnight Physical Geography: A Landscape Appreciation edisi 12*. Pearson.
- [9] Wikipedia. (2024). Klasifikasi iklim Köppen. Retrieved from https://id.wikipedia.org/wiki/Klasifikasi_iklim_K%C3%B6ppen.
- [10] Valverde, M. C., & Marengo, J. A. (2014). Extreme rainfall indices in the hydrographic basins of Brazil. *Open Journal of Modern Hydrology*, 4, 10-26. doi: 10.4236/ojmh.2014.41002.
- [11] Beis, D. S., Pattipeilohy, W. J., & Hadi, A. S. (2022). Identifikasi penurunan tren curah hujan, CDD dan CWD di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *BGB*. 3(1), 8-16.
- [12] Ghanim, A. A. J., Anjum, N. M., Rasool, G., Saifullah., Irfan, M., Rahman, S., Mursal, S. N. F., & Niazi, U. M. (2023). Assessing spatiotemporal trends of total and extreme precipitation in a subtropical highland region: a climate perspective. *PLoS ONE*, 18(8), 1-19. doi: 10.1371/journal.pone.0289570.

IDENTIFIKASI PERUBAHAN CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA DI KOTA BENGKULU DAN KABUPATEN KEPAHIANG PROVINSI BENGKULU

IDENTIFICATION OF CHANGES IN RAINFALL AND AIR TEMPERATURE IN BENGKULU CITY AND KEPAHIANG DISTRICT, BENGKULU PROVINCE

Dina Whiri Muslihah^{1*}, Saif Akmal²

^{1,2}Stasiun Klimatologi Bengkulu, Jl. Ir. Rustandi Sugianto, Kota Bengkulu, 38216

*E-mail: dina.muslihah@bmkgo.id

Naskah masuk: 17 Oktober 2023 Naskah diperbaiki: 20 November 2023 Naskah diterima: 22 Mei 2024

ABSTRAK

Perubahan iklim memiliki dampak yang luas di berbagai wilayah di dunia. Peluang terjadinya kondisi iklim ekstrem berupa curah hujan tinggi dan kekeringan meningkat sebagai salah satu akibat dari perubahan iklim. Indonesia yang berada di wilayah tropis dan termasuk dalam negara berkembang rentan terdampak perubahan iklim sehingga perlu dilakukan analisis perubahan iklim di Indonesia. Penelitian ini menganalisis perubahan iklim menggunakan indeks iklim ekstrem yang dihasilkan dari kajian *Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)*. Indeks ini menghitung perubahan pada suhu maksimum, suhu minimum, dan curah hujan. Analisis statistik menggunakan metode Mann-Kendall juga dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya tren perubahan pada unsur iklim. Data yang digunakan adalah data dari Stasiun Meteorologi Bengkulu sebagai perwakilan dari wilayah Kota Bengkulu yang berada di pesisir pantai dan data dari Stasiun Geofisika Kepahiang sebagai perwakilan dari Kabupaten Kepahiang yang berada pada daerah dataran tinggi. Data yang digunakan adalah data periode 1991 – 2020. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan suhu minimum yang signifikan pada kedua wilayah.

Kata kunci: Indeks, suhu, curah hujan, perubahan iklim, tren

ABSTRACT

Climate change has far-reaching impacts in various regions of the world. The chance of extreme climate conditions in the form of high rainfall and drought is increasing as a result of climate change. Indonesia, which is in a tropical region and is a developing country, is vulnerable to being affected by climate change, so it is necessary to analyze climate change in Indonesia. This research analyzes climate change using extreme climate indices produced from the Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) study. This index calculates changes in maximum temperature, minimum temperature, and rainfall. Statistical analysis using the Mann-Kendall method was also carried out to see whether or not there were changing trends in climate elements. The data used is data from the Bengkulu Meteorological Station as a representative of the Bengkulu City area which is on the coast and data from the Kepahiang Geophysical Station as a representative of Kepahiang Regency which is in the highland area. The data used is data for the period 1991 – 2020. The results of this research show that there has been a significant change in minimum temperature in both regions.

Keywords: Indices, temperature, rainfall, climate change, trends

1. Pendahuluan

Konsekuensi signifikan dari pemanasan global akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer adalah terjadinya perubahan iklim [1]. Merujuk pada definisinya, perubahan iklim adalah berubahnya pola dan intensitas unsur iklim pada periode waktu yang dapat dibandingkan [2]. Dampak serius perubahan iklim mengakibatkan peningkatan curah hujan di wilayah tertentu dan sekaligus kekeringan di tempat yang lain [3]. Peluang kejadian cuaca atau iklim ekstrem semakin meningkat seiring dengan terjadinya perubahan iklim [4]. Indikator kejadian cuaca atau iklim ekstrem dapat dikaji melalui variasi nilai indeks iklim [5]. Nilai indeks iklim ekstrem merupakan indeks yang menggambarkan suatu karakteristik khusus dari perubahan iklim hasil kajian *Expert Team for Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI). ETCCDI menyediakan penentuan indeks iklim ekstrem berdasarkan data harian suhu dan curah hujan. Kajian pemanfaatan indeks iklim ekstrem telah dilakukan pada beberapa lokasi untuk melihat ada tidaknya perubahan kejadian cuaca atau iklim ekstrem sebagai deteksi awal terjadinya perubahan iklim [6].

Berada di wilayah tropis menjadikan Indonesia memiliki curah hujan tinggi dan pencahayaan matahari yang intens setiap tahunnya. Kondisi tersebut juga disertai tingginya risiko bencana akibat peristiwa iklim ekstrem seperti banjir dan kemarau [7]. Peningkatan suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan yang lain seperti naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca ekstrem, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi [8]. Presipitasi sebagai endapan air dari atmosfer pada permukaan bumi dalam bentuk cair (tetes hujan) dan padat (es). Bentuk presipitasi yang umum dikenal adalah hujan (*rain*), gerimis (*drizzle*), salju (*snow*), dan batu es (*hail*). Di wilayah tropis seperti Indonesia, presipitasi lebih didefinisikan sebagai hujan karena sangat jarang dalam bentuk es [9]. Analisis lebih mendalam terkait peristiwa ekstrem penting dilakukan utamanya di wilayah negara berkembang yang rentan terhadap bencana akibat peristiwa ekstrem, salah satunya di wilayah Indonesia.

Penelitian mengenai perubahan indeks iklim ini telah dilakukan secara global maupun regional. Analisis secara global menunjukkan perubahan pada suhu udara ekstrem yang cukup signifikan yang berasosiasi dengan peningkatan suhu

udara sejak 1951 hingga 2003 [10]. Di wilayah Eropa, dengan jangka waktu 1946 hingga 1999 dengan hasil yang menunjukkan terjadi penurunan deret hari dingin yang signifikan dan disertai terjadi peningkatan deret hari hangat [11]. Di Jakarta, jumlah hari yang panas menurut kecenderungan yang umumnya meningkat. Hal ini dapat menyebabkan suhu di Jakarta semakin panas. Namun untuk curah hujan, tidak ada perubahan yang signifikan curah selama tahun 1986-2014 [12].

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian perubahan variabel iklim seperti temperatur maksimum, temperatur minimum, dan curah hujan dari pengamatan harian yang memenuhi kriteria perubahan iklim. Kota Bengkulu dan Kabupaten Kepahiang dipilih sebagai representasi dataran rendah dan kawasan dataran tinggi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perubahan karakteristik suhu dan curah hujan dari hasil pengamatan dengan menggunakan perhitungan indeks. Hasil dari penelitian ini untuk kajian akademik yang lebih dalam menyusun strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan maupun strategi yang tepat untuk mengantisipasi dampak buruk hujan ekstrem, maupun berbagai sektor pembangunan lainnya di Kota Bengkulu dan Kabupaten Kepahiang.

2. Metode Penelitian

2.1 Data Penelitian

Metode Wilayah yang dikaji pada penelitian ini adalah Kota Bengkulu dan Kabupaten Kepahiang, dengan menggunakan data observasi Stasiun Meteorologi Fatmawati Bengkulu dan Stasiun Geofisika Kepahiang. Data observasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data harian parameter suhu maksimum, suhu minimum dan curah hujan periode tahun 1991 – 2020. Periode 1991– 2020 merupakan periode standar normal terbaru yang digunakan oleh BMKG untuk analisis klimatologis.

Nama Stasiun	Lintang	Bujur	Elevasi
Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno Bengkulu	03°51'46.8"	102°19'40.8"	16 m
Stasiun Geofisika Kepahiang	03°39'25.2"	102°33'46.8"	517 m

2.2 Metode Penelitian

Tahap awal pada penelitian adalah pengumpulan data cuaca harian di stasiun pengamatan di atas pada periode pengamatan 1991-2020. Kemudian dilakukan kontrol kualitas data. Penyusunan data dilakukan dengan format bahasa pemrograman *Rclimdex* sebagai *software* pengolah data statistik. Dilakukan perhitungan akumulatif, rata-rata, estimasi tren linear dan uji statistik pada tiap indeks iklim yang dihitung. Dalam penelitian ini, indeks iklim yang dihitung adalah berdasarkan standar ETCCDI adalah sebagai berikut.

Indeks Curah Hujan

Indeks	Deskripsi	Definisi	Satuan
Rx1day	Max 1-day precipitation amount	Monthly maximum 1-day precipitation	Mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	Mm
R10	Number of heavy precipitation days	Annual count of days when PRCP>=10mm	Days
R20	Number of very heavy precipitation days	Annual count of days when PRCP>=20mm	Days
CDD	Consecutive dry days	Maximum number of consecutive days with RR<1mm	Days
CWD	Consecutive wet days	Maximum number of consecutive days with RR>=1mm	Days
R95p	Very wet days	Annual total PRCP when RR>95th percentile	Mm
R99p	Extremely wet days	Annual total PRCP when RR>99th percentile	mm
PRCPTOT	Annual total wet-day precipitation	Annual total PRCP in wet days (RR>=1mm)	mm

Indeks Suhu Udara

Indeks	Deskripsi	Definisi	Satuan
TXx	Max Tmax	Monthly maximum value of daily maximum temp	°C
TNx	Max Tmin	Monthly maximum value of daily minimum temp	°C
TXn	Min Tmax	Monthly minimum value of daily maximum temp	°C
TNn	Min Tmin	Monthly minimum value of daily minimum temp	°C

TXmean	Mean Tmax	Monthly average value of daily maximum temp	°C
TNmean	Mean Tmin	Monthly average value of daily minimum temp	°C
TN10p	Cool nights	Percentage of days when TN<10th percentile	Days
TX10p	Cool days	Percentage of days when TX<10th percentile	Days
TN90p	Warm nights	Percentage of days when TN>90th percentile	Days
TX90p	Warm days	Percentage of days when TX>90th percentile	Days
DTR	Diurnal temperature range	Monthly mean difference between TX and TN	°C

Selain menggunakan analisis berdasarkan indeks iklim ekstrem, dilakukan juga analisis menggunakan metode statistik deskriptif. Sebagai pembuktian ada atau tidaknya perubahan nilai tren sebagai dampak dari perubahan iklim di wilayah Kota Bengkulu dan Kabupaten Kepahiang, maka dilakukan uji Mann-Kendall [13] untuk menunjukkan perubahan unsur cuaca secara statistik. Perumusan yang dilakukan untuk menghitung Mann-Kendall adalah dengan menghitung variabel *S* sebagai berikut.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \tag{1}$$

Di mana *n* merupakan jumlah data, *x_j* dan *x_k* adalah nilai data dalam sebuah data *time series* pada rentang *j* dan *k*, untuk *sgn(x_j - x_k)* merupakan fungsi dari:

$$sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & \text{jika } x_j - x_k > 0 \\ 0, & \text{jika } x_j - x_k = 0 \\ -1, & \text{jika } x_j - x_k < 0 \end{cases} \tag{2}$$

Untuk nilai variasi, dihitung menggunakan perumusan:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{3}$$

Kemudian untuk persamaan Mann-Kendall dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{jika } S > 0 \\ 0, & \text{jika } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{jika } S < 0 \end{cases} \tag{4}$$

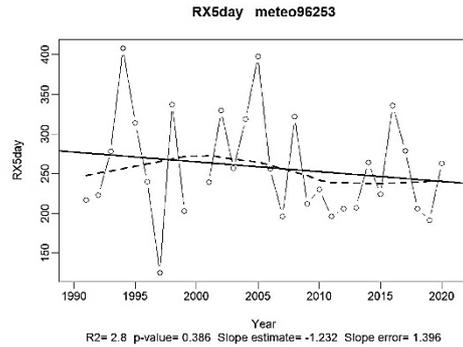
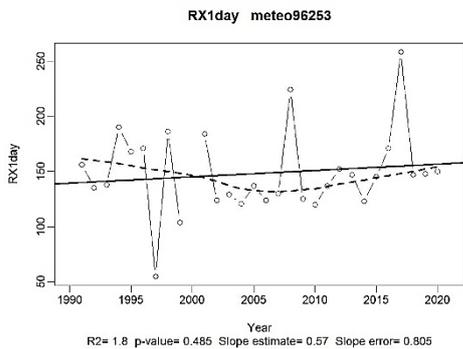
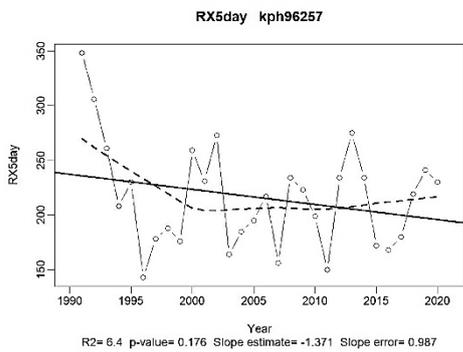
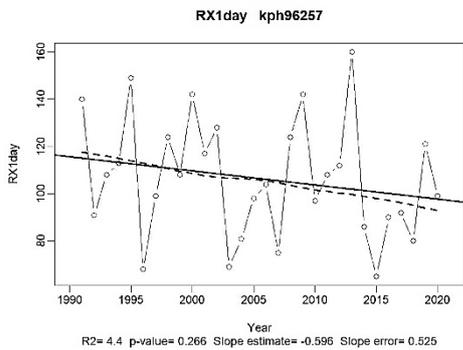
Nilai *Z_{MK}* positif menunjukkan adanya kecenderungan perubahan tren positif, nilai *Z_{MK}* negatif menunjukkan kecenderungan perubahan tren negatif. Pengujian nilai tren

dilakukan pada nilai α yang signifikansi yang spesifik. Ketika $|Z_s| > Z_{s1-\alpha/2}$, H_0 ditolak. $Z_{s1-\alpha/2}$ didapatkan dari tabel distribusi normal. Pada penelitian ini digunakan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ ($Z_{MK} \geq Z_{\alpha/2} = |\pm 1,96|$).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan menjelaskan hasil perhitungan indeks yang dijelaskan dalam bentuk plot grafik indeks. Gambar sebelah kiri menunjukkan indeks di Kabupaten Kepahiang dan sebelah kanan menunjukkan indeks wilayah Kota Bengkulu.

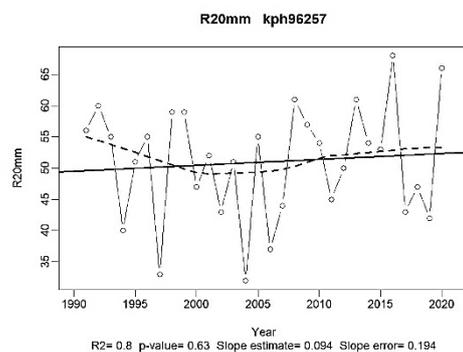
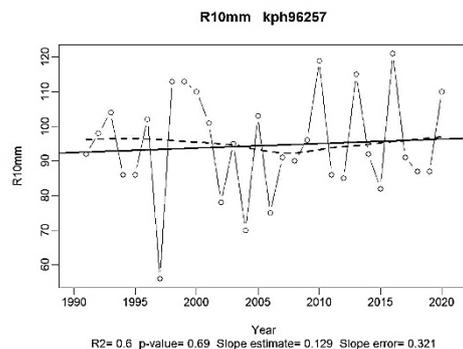
Rx1day dan Rx5day

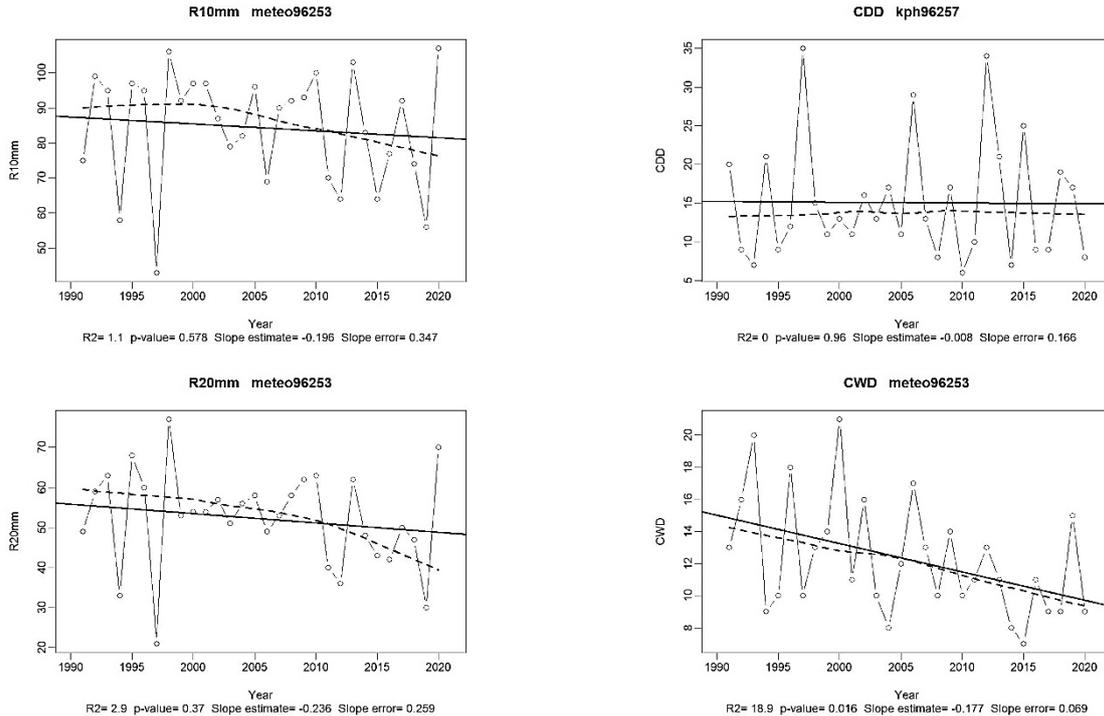


Gambar 1. Plot indeks Rx1day dan Rx5day

Indeks Rx1day dan Rx5day memberi gambaran intensitas curah hujan bulanan maksimum yang terjadi dalam 1 hari dan dalam 5 hari berturut-turut yang dihitung per-tahun. Nilai Rx1day dan Rx5day di wilayah Kepahiang memiliki variasi antar tahunan yang beragam. Nilai Rx1day tertinggi sebesar 160 mm dengan rata-rata sebesar 106 mm. Nilai Rx5day tertinggi sebesar 348 mm dengan rata-rata sebesar 216 mm. Kedua indeks ini memiliki kecenderungan untuk turun sebesar 0.59 dan 1.38 mm setiap tahunnya. Sedangkan nilai Rx1day tertinggi di wilayah Kota Bengkulu adalah 258 mm dengan rata-rata sebesar 148 mm. Nilai Rx5day tertinggi sebesar 408 mm dengan rata-rata sebesar 258 mm. Di wilayah Kota Bengkulu, indeks Rx1day memiliki kecenderungan naik sebesar 0.57 mm setiap tahunnya dan indeks Rx5day cenderung turun sebesar 1.23 mm per-tahunnya.

R10 dan R20

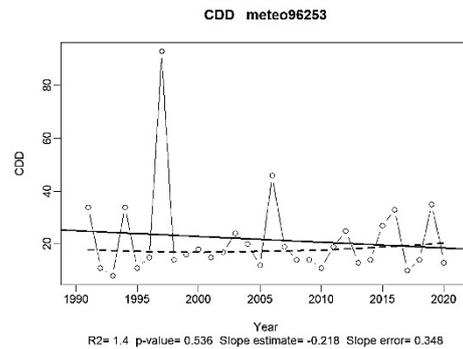
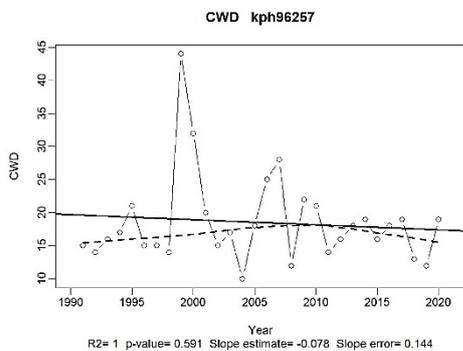




Gambar 2. Plot indeks R10 dan R20

BMKG sebagai lembaga pemerintah yang berwenang terhadap informasi cuaca dan iklim memberikan batasan curah hujan >20mm/hari sebagai kategori hujan sedang. Indeks R10 dan R20 memberikan gambaran untuk jumlah hari dengan hujan harian lebih dari 10mm/hari dan 20mm/hari pada setiap tahun. Secara umum, frekuensi intensitas curah hujan >10mm/ hari di wilayah Kepahiang lebih tinggi daripada di Kota Bengkulu, sedangkan frekuensi intensitas curah hujan >20mm/hari pada kedua wilayah tidak jauh berbeda. Analisis tren R10 dan R20 menunjukkan adanya kecenderungan naik pada wilayah Kepahiang sebesar 0.13 dan 0.09 hari setiap tahunnya dan turun pada wilayah Kota Bengkulu sebesar 0.20 dan 0.23 hari setiap tahunnya.

CWD dan CDD

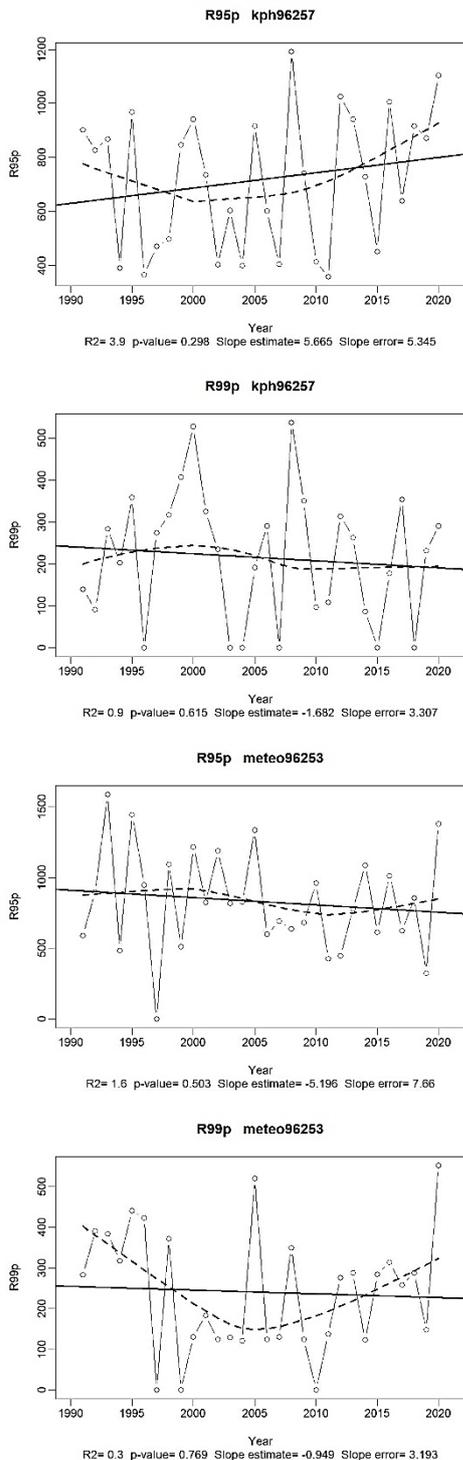


Gambar 3. Plot indeks CWD dan CDD

Indeks CWD menunjukkan jumlah maksimum pada deret hari hujan berturut-turut selama satu tahun. Indeks CDD menunjukkan jumlah maksimum pada deret hari tanpa hujan berturut-turut selama satu tahun. Indeks CWD rata-rata di Kabupaten Kepahiang berkisar antara 10 – 44 hari sedangkan di Kota Bengkulu berkisar antara 7 – 21 hari. Analisis tren CWD menunjukkan kecenderungan tren untuk terus turun setiap tahunnya dengan *slope* masing-masing sebesar 0.08 dan 0.17. Hal ini menunjukkan ada probabilitas intensitas curah hujan yang semakin sedikit terjadi. Di sisi lain, indeks CDD rata-rata di Kabupaten Kepahiang berkisar antara 6 – 35 hari sedangkan di Kota Bengkulu berkisar antara 8 – 93 hari. CDD tertinggi sebanyak 93 hari terjadi pada tahun 1997 yang bersamaan dengan kejadian El-Nino kuat sehingga menjadi indikasi pada tahun ini El-Nino kuat memberi dampak yang signifikan pada pengurangan intensitas hujan bahkan menyebabkan kekeringan di Kota Bengkulu.

Analisis tren CDD baik di Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu menunjukkan tidak adanya perubahan tren yang signifikan. Secara umum, deret hari kering lebih banyak daripada deret hari hujan pada wilayah Kota Bengkulu dengan kecenderungan intensitas dan durasi curah hujan akan semakin sering terjadi di wilayah Kota Bengkulu.

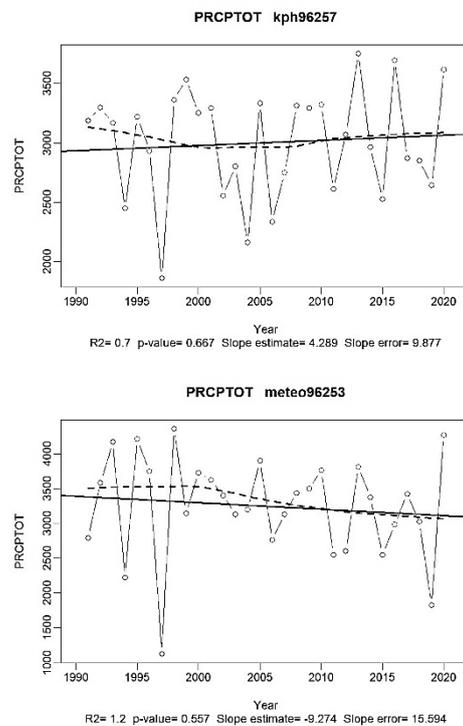
R95p dan R99p



Gambar 4. Plot indeks R95p dan R99p

Kedua indeks ini, R95p dan R99p memberikan gambaran intensitas hujan tahunan pada saat hujan lebih dari nilai ekstrem. Nilai ekstrem tersebut diambil dari nilai persentil ke-95 dan ke-99 curah hujan selama periode data 1991 – 2020. Dapat dikatakan ekstrem persentil ke-95 mewakili curah hujan ekstrem sedangkan ekstrem persentil ke-99 mewakili nilai curah hujan sangat ekstrem. Indeks R95p di kedua wilayah memiliki perbedaan kecenderungan untuk naik dan turun. Di wilayah Kepahiang, R95p memiliki kecenderungan untuk naik sedangkan di Kota Bengkulu cenderung untuk turun. Sedangkan, pada indeks R99p pada kedua wilayah memiliki persamaan untuk cenderung turun dengan *slope* sebesar 1.69 di Kabupaten Kepahiang dan 0.95 di Kota Bengkulu.

PRCPTOT

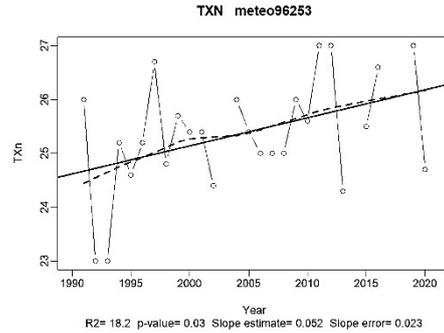
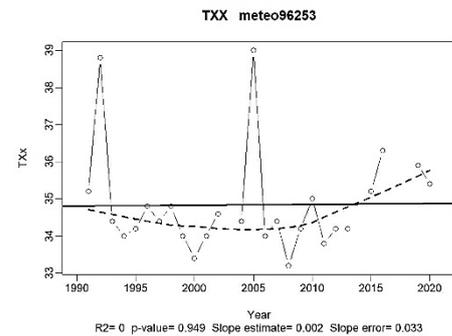
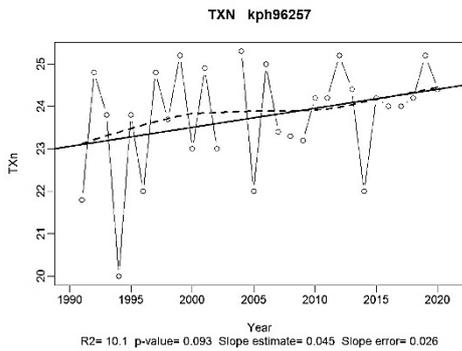
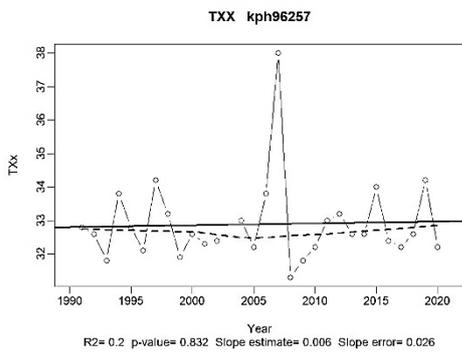


Gambar 5. Plot indeks PRCPTOT

Curah hujan tahunan adalah indeks untuk akumulasi curah hujan selama periode satu tahun. Terdapat variasi curah hujan antar tahunan dari kedua stasiun. Curah hujan rata-rata selama periode 1991 – 2020 di Kabupaten Kepahiang adalah 3003 mm dengan rentang curah hujan berada pada kisaran 1800 – 3750 mm per-tahunnya. Selama periode tersebut, curah hujan terendah terjadi pada tahun 1997 dengan intensitas sebanyak 1864 mm. Sedangkan curah hujan tertinggi terjadi pada tahun 2013 dengan intensitas 3752 mm. Selain itu, dari analisis tren terdapat kecenderungan peningkatan curah hujan sebesar 4.3 mm setiap tahunnya.

Di Kota Bengkulu, curah hujan rata-rata tahunannya adalah sebesar 3246 mm. Selama periode data, curah hujan terendah di Kota Bengkulu terjadi pada tahun 1997 dengan intensitas curah hujan sebesar 1129 mm dengan curah hujan tertingginya terjadi pada tahun 1998 dengan intensitas 4357 mm. Dari analisis tren, didapatkan kecenderungan curah hujan untuk terus turun setiap tahunnya sebesar 9.3 mm setiap tahunnya. Perbedaan nilai curah hujan dapat diakibatkan dari perbedaan penerimaan radiasi dan penguapan yang terjadi akibat perbedaan ketinggian lokasi.

TXx dan TXn

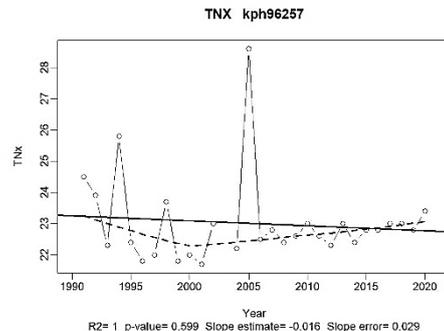


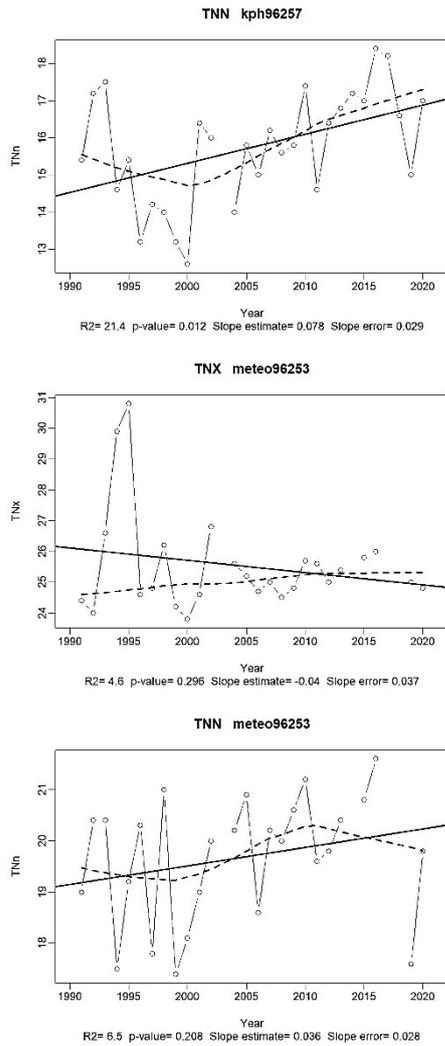
Gambar 6. Plot indeks TXx dan TXn

TXx dan TXn merupakan indeks yang menunjukkan nilai tertinggi suhu maksimum bulanan dan nilai terendah suhu maksimum bulanan pada suatu wilayah. Berdasarkan indeks TXx, di Kabupaten Kepahiang maupun Kota Bengkulu mengalami kenaikan. Kenaikan yang terjadi di kedua wilayah memiliki *slope* sebesar 0.006 dan 0.002 untuk masing-masing wilayah Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu dalam periode waktu 1991 – 2020. Indeks ini cenderung datar mengindikasikan bahwa selama periode waktu tersebut, perubahan nilai tertinggi suhu maksimum bulanan tidak terlalu signifikan, bahkan cenderung sama.

Hal yang berbeda terjadi pada indeks TXn, di mana wilayah Kabupaten Kepahiang mengalami kenaikan dengan *slope* 0.045, sedangkan di wilayah Kota Bengkulu mengalami kenaikan dengan *slope* sebesar 0.052. Kenaikan yang terjadi di Kota Bengkulu lebih besar jika dibandingkan di Kabupaten Kepahiang menunjukkan bahwa di kedua wilayah mengalami suhu maksimum yang cenderung semakin panas, namun Kota Bengkulu mengalami kenaikan yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah Kabupaten Kepahiang. Perubahan pada indeks ini juga menunjukkan bahwa perubahan yang signifikan hanya terjadi di Kota Bengkulu.

TNx dan TNn

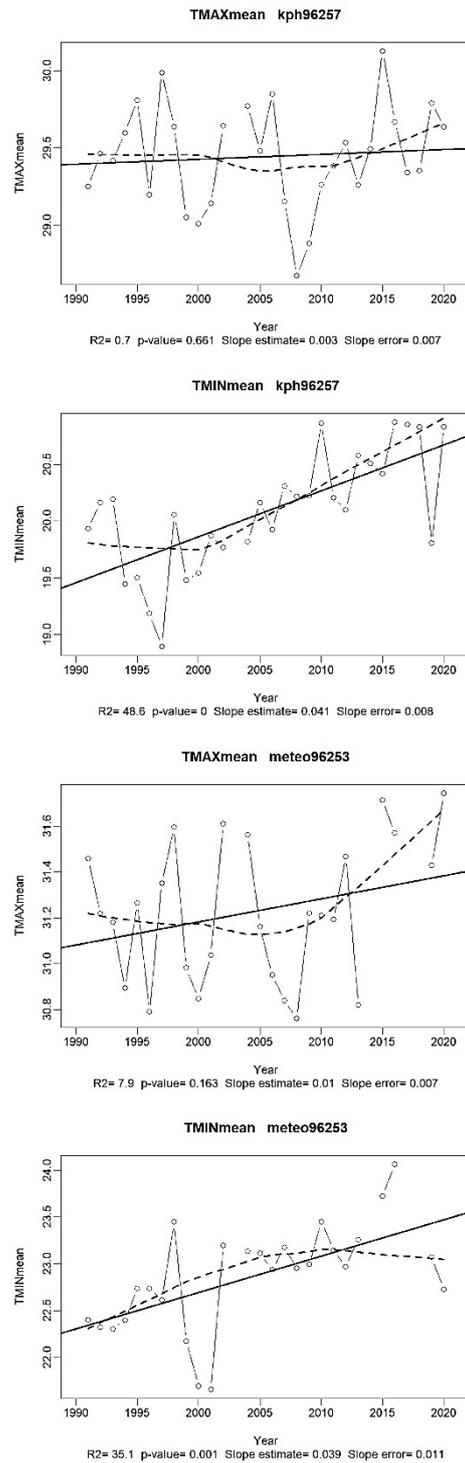




Gambar 7. Plot indeks TNx dan TNn

TNx dan TNn merupakan indeks suhu minimum tertinggi dan suhu minimum terendah. Untuk indeks TNx, pada kedua wilayah mengalami penurunan dengan *slope* sebesar 0.016 dan 0.04 untuk Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu. Berdasarkan nilai *slope*, penurunan di Kota Bengkulu cenderung lebih rendah, namun perubahan di kedua wilayah tidak signifikan. Sedangkan untuk indeks TNn, di kedua wilayah mengalami kenaikan dengan nilai *slope* 0.078 untuk Kabupaten Kepahiang dan 0.036 untuk Kota Bengkulu. Berdasarkan indeks tersebut, kenaikan nilai terendah suhu minimum di Kabupaten Kepahiang cenderung lebih tinggi dan signifikan jika dibandingkan dengan Kota Bengkulu yang terjadi tidak signifikan. Peningkatan nilai terendah suhu minimum ini mengindikasikan bahwa nilai terendah yang dapat dicapai oleh suhu minimum, menjadi lebih panas dalam periode 1991 – 2020.

TXmean dan Tnmean



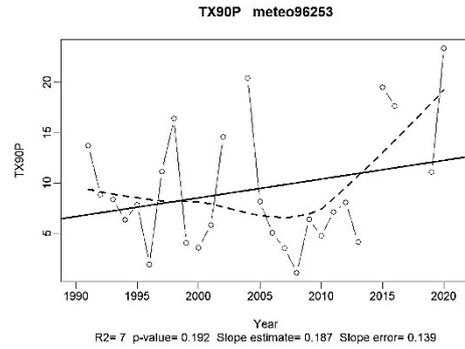
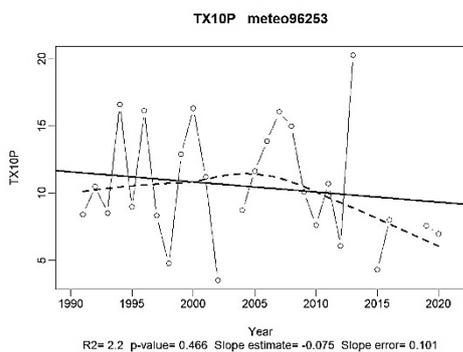
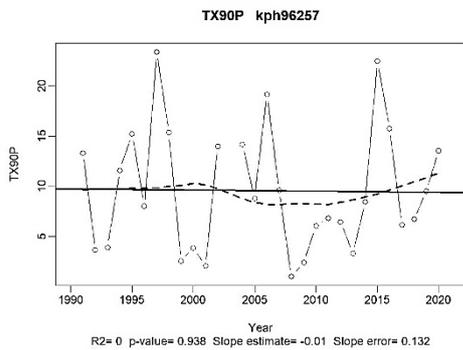
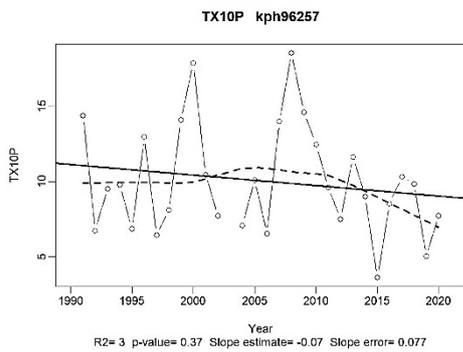
Gambar 8. Plot indeks TXmean dan Tnmean

Indeks TXmean dan TNmean menghitung nilai rata-rata suhu maksimum dan suhu minimum. Berdasarkan indeks TXmean, Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu sama-sama mengalami kenaikan dengan *slope* 0.003 dan 0.01, namun perubahan di kedua wilayah tidak signifikan. Kenaikan pada Kota Bengkulu lebih

tinggi, hal ini sejalan dengan indeks TXn di mana nilai terendah suhu maksimum Kota Bengkulu juga mengalami kenaikan yang lebih tinggi daripada Kabupaten Kepahiang.

Sedangkan untuk indeks TNmean, kedua wilayah mengalami kenaikan dengan nilai slope 0.041 untuk Kabupaten Kepahiang dan 0.039 untuk Kota Bengkulu dengan perubahan yang signifikan di kedua wilayah. Kenaikan pada indeks TNmean Kabupaten Kepahiang lebih tinggi daripada Kota Bengkulu yang sejalan dengan indeks TNn Kabupaten Kepahiang yang mengalami kenaikan lebih tinggi juga.

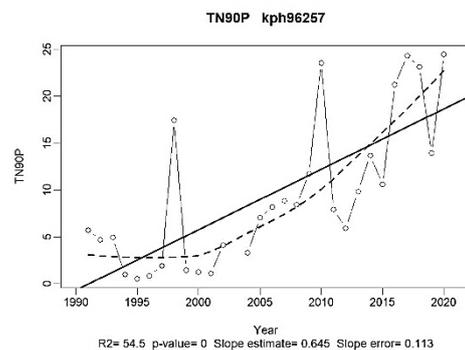
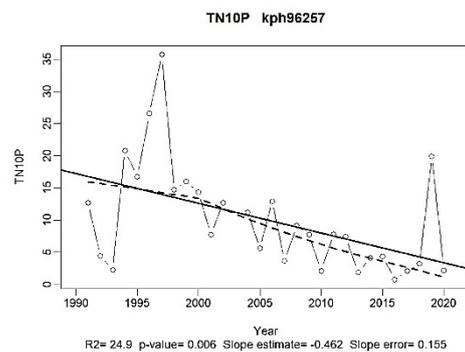
TX10p dan TX90p

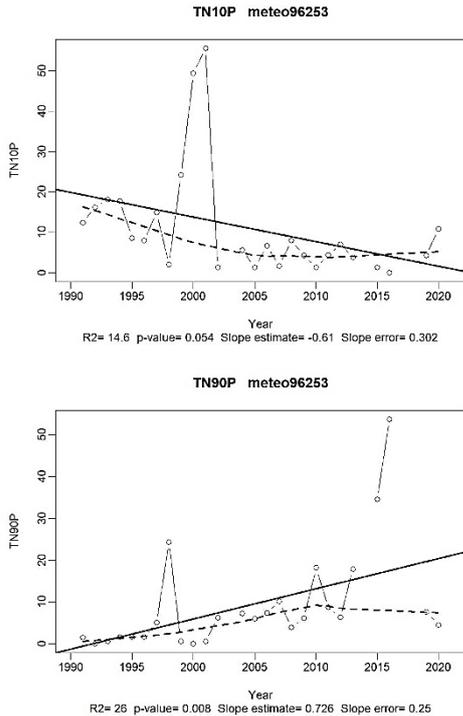


Gambar 9. Plot indeks TX10p dan TX90p

Gambar 8. Menunjukkan indeks TX10p (*cold days*) dan TX90p (*warm days*). Pada kedua wilayah, indeks *cold days* mengalami penurunan dengan slope 0.07 dan 0.075 untuk Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu, sedangkan untuk *warm days*, Kabupaten Kepahiang mengalami penurunan dengan slope 0.01 dan Kota Bengkulu mengalami kenaikan dengan slope 0.187. Perubahan yang terjadi pada 2 indeks di kedua wilayah cenderung tidak signifikan. Terjadinya penurunan *cold days* dan kenaikan *warm days* di Kota Bengkulu menunjukkan bahwa suhu di siang hari semakin meningkat sehingga kejadian suhu dengan nilai yang lebih besar dari persentil ke-90 semakin sering terjadi. Sedangkan untuk Kabupaten Kepahiang, terjadinya penurunan *cold days* dan penurunan *warm days* cenderung lebih kecil.

TN10p dan TN90p

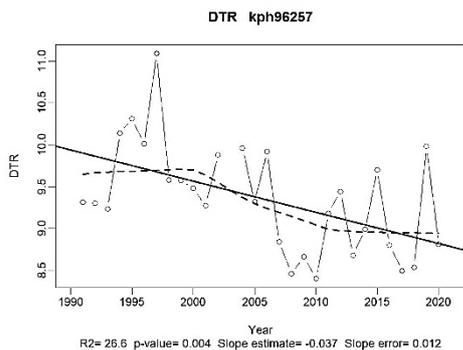




Gambar 10. Plot indeks TN10p dan TN90p

Gambar 9 menunjukkan indeks TN10p (*cold nights*) dan TN90p (*warm nights*). Indeks TN10p pada Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu mengalami penurunan dengan *slope* 0.462 dan 0.61 untuk masing-masing wilayah. Perubahan di Kabupaten Kepahiang terjadi dengan signifikan, namun perubahan di Kota Bengkulu tidak signifikan. Pada indeks TN90p mengalami hal sebaliknya, yaitu terjadi kenaikan dengan *slope* 0.645 untuk Kabupaten Kepahiang dan 0.762 untuk Kota Bengkulu dengan perubahan yang signifikan untuk kedua wilayah. Terjadinya penurunan kejadian *cold nights* dan terjadinya kenaikan *warm nights* pada kedua wilayah menunjukkan bahwa suhu di malam hari semakin meningkat. Peningkatan suhu di malam hari lebih besar terjadi di Kota Bengkulu yang ditunjukkan dengan nilai *slope* yang lebih besar untuk penurunan *cold nights* maupun kenaikan *warm nights*.

DTR



Gambar 11. Plot indeks DTR

Indeks DTR yang merupakan selisih antara nilai suhu maksimum dan suhu minimum. Berdasarkan indeks DTR, nilai pada kedua wilayah mengalami penurunan dengan *slope* 0.037 untuk Kabupaten Kepahiang dan 0.029 untuk Kota Bengkulu. Perubahan indeks DTR di kedua wilayah adalah signifikan. Penurunan di Kabupaten Kepahiang memiliki nilai yang lebih tinggi. Penurunan nilai DTR, mengindikasikan bahwa selisih nilai suhu maksimum dan suhu minimum semakin kecil. DTR dipengaruhi oleh banyak faktor, di antaranya adalah adanya perubahan tata guna dan tutupan lahan, *urban heat*, emisi dari gas rumah kaca, serta tutupan awan. Faktor-faktor tersebut mengakibatkan semakin kecilnya selisih dari suhu maksimum dan suhu minimum yang terjadi dalam suatu wilayah [14]. Perubahan pada DTR menyimpan informasi yang penting dalam analisis perubahan iklim, karena dapat merepresentasikan perubahan pada suhu yang lebih kompleks daripada perubahan yang terjadi hanya pada suhu rata-rata saja. Terjadinya perubahan pada nilai DTR merupakan dampak langsung dari terjadinya perubahan yang konsisten pada nilai suhu maksimum dan minimum [15].

Analisis Mann-Kendall

Berdasarkan hasil hitung Mann-Kendall, didapatkan nilai *p-value* untuk setiap unsur di Kabupaten Kepahiang dan Kota Bengkulu sebagai berikut.

Nama Unsur	Lokasi	p -Value at $\alpha = 0.05$
Curah Hujan	Stasiun Geofisika Kepahiang	Upward: 0.333607
		Downward: 0.666393
Suhu Maksimum	Stasiun Geofisika Kepahiang	Upward: 0.629004
		Downward: 0.370996
Suhu Minimum	Stasiun Geofisika Kepahiang	Upward: 0
		Downward: 1
Curah Hujan	Stasiun Meteorologi Fatmawati	Upward: 0.756794
		Downward: 0.243206
Suhu Maksimum	Stasiun Meteorologi Fatmawati	Upward: 0.692128
		Downward: 0.307872
Suhu Minimum	Stasiun Meteorologi Fatmawati	Upward: 0
		Downward: 1

Nilai p -value yang dihasilkan menunjukkan ada atau tidaknya perubahan tren dari unsur yang diukur. Unsur yang mengalami perubahan, memiliki nilai p -value kurang dari 0.05. Hasil hitung tes Mann-Kendall menunjukkan bahwa unsur yang mengalami perubahan tren adalah unsur suhu minimum saja dari kedua lokasi. Perubahan tren yang terjadi adalah perubahan ke atas, yaitu terbukti terjadi peningkatan suhu minimum di kedua lokasi berdasarkan analisis tren. Untuk unsur curah hujan dan suhu maksimum di kedua lokasi, tidak menunjukkan adanya perubahan berdasarkan tes Mann-Kendall. Hasil dari tes Mann-Kendall ini sejalan dengan hasil indeks dari $Rclimdex$ di mana indeks suhu minimum lebih menunjukkan adanya perubahan yang signifikan.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan 9 indeks curah hujan yang dianalisis, Kota Bengkulu mengalami perubahan yang signifikan pada indeks CWD, sedangkan untuk Kabupaten Kepahiang tidak terdapat perubahan pada semua indeks. Perubahan indeks CWD di Kota Bengkulu berupa penurunan yang mengindikasikan bahwa terjadi penurunan kejadian hujan di Kota Bengkulu yang signifikan.
2. Berdasarkan 9 indeks suhu yang dianalisis, Kota Bengkulu mengalami perubahan yang signifikan pada indeks TXN, TNmean, TN90p, dan DTR. Sedangkan untuk Kabupaten Kepahiang mengalami perubahan yang signifikan pada indeks TNN, TNmean, TN10p, TN90p, dan DTR. Perubahan yang terjadi di kedua wilayah

mengarah pada semakin hangatnya suhu dalam periode 30 tahun.

3. Nilai p -value pada analisis Mann-Kendall menunjukkan adanya perubahan tren yang signifikan hanya pada unsur suhu minimum di Kota Bengkulu maupun di Kabupaten Kepahiang. Hal ini mendukung hasil dari hitung $Rclimdex$ yang juga menunjukkan perubahan signifikan pada indeks-indeks suhu minimum.

Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, S. (2019). Analisis iklim ekstrim untuk deteksi perubahan iklim di Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 7–14. doi: 10.14710/jil..
- [2] Herlina, N., & Prasetyorini, A. (2020). Pengaruh Perubahan Iklim pada musim tanam dan produktivitas jagung (*Zea mays L.*) di Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 118-128.
- [3] Sudarma, I. M., & As-syakur, A., R. (2018). Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian di provinsi Bali. *SOCA J. Sos. Ekon. Pertan.* doi: 10.24843/soca.2018.v12.i01.p07.
- [4] Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E. M., & Wyser, K. (2018). Extreme heat waves under 1.5 C and 2 C global warming. *Environmental research letters*, 13(5), 054006.
- [5] Ariyani, R. N., Muliadi, M., & Adriat, R. Analisis Nilai Indeks Iklim Ekstrem Periode Tahun 1990-2019 Di Kalimantan Barat. (2021). *Prisma Fisika*, 9(3), 309-314.
- [6] Ariyani, R. N., Muliadi, M., & Adriat, R. (2020). Analisis Kecenderungan Hujan Ekstrem Berbasis Indeks Iklim Ekstrem Periode Tahun 1990-2019 di Kalimantan Barat. *Positron*, 12(1), 49-59.
- [7] Hidayat, N. M., Pandiangan, A. E., & Pratiwi, A. (2018). Identifikasi perubahan curah hujan dan suhu udara menggunakan $Rclimdex$ Di wilayah Serang. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5(2), 37-44.
- [9] Bayong, T., H. K. (1999). *Klimatologi Umum*. Bandung: ITB.
- [10] Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., ...Haylock, M. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J Geophys Res*, 111, 1-22.
- [11] Klein Tank AMG., & Konnen, G. P. (2003). Slopes in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *J Clim.*, 16, 3665-3680.
- [12] Khoir, A. N., Mamlu'atur, R., Safril, A., & Fadholi, A. (2018). *Analysis of changes in daily temperature and precipitation extreme in Jakarta on period of 1986-2014*. In MATEC Web of Conferences Vol. 229, p. 02017. EDP Sciences.
- [13] Guçlu, Y. S. (2020). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology*, 584, 124674.
- [14] Sankalp, S., Sahoo, B. B., & Sahoo, S. N. (2022). Deep learning models comparable assessment and uncertainty analysis for diurnal temperature range (DTR) predictions over Indian urban cities. *Results in Engineering*, 13, 100326.
- [15] Sun, X., Ren, G., You, Q., Ren, Y., Xu, W., Xue, X., ... Zhang, P. (2019). Global Diurnal Temperature Range (DTR) Changes Since 1901. *Climate Dynamics*, 52, 3343-3356.

APLIKASI FAST FOURIER TRANSFORM DALAM ANALISIS KORELASI PERIODISITAS CURAH HUJAN DI SUMATERA UTARA DENGAN FENOMENA VARIABILITAS IKLIM GLOBAL

APPLICATION OF FAST FOURIER TRANSFORM IN ANALYSING THE CORRELATION OF RAINFALL PERIODICITY IN NORTH SUMATRA WITH THE PHENOMENON OF GLOBAL CLIMATE VARIABILITY

Revo Zulhan Nugroho^{1*}, Najla Ailiya Azzahra², Prigan Jundan Wisanggeni³, Nurjanah Kastella⁴,
Zuhayr Raditya Hasibuan⁵, Yosep Tampubolon⁶

Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Indonesia,
Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221.

*E-mail: revo.zulhan.nugroho@gmail.com

Naskah masuk: 12 Januari 2024 Naskah diperbaiki: 17 April 2024 Naskah diterima: 30 Juni 2024

ABSTRAK

Provinsi Sumatera Utara memiliki variabilitas dan pola curah hujan yang dipengaruhi berbagai fenomena variabilitas iklim global seperti Dipole Mode, IOD (*Indian Ocean Dipole*) dan ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*). Untuk melihat aktivitas dan pengaruh dari tiap-tiap fenomena iklim global tersebut, digunakan beberapa indeks antara lain *Dipole Mode Index* (DMI) untuk IOD, *Australian Monsoon Index* (AUSMI) dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) untuk peredaran monsun, dan Indeks NINO 3.4 untuk fenomena ENSO. Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan selama 30 tahun yang dianalisis secara spektral menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*), kemudian menghubungkan dan menganalisis pola periodisitas curah hujan terhadap indeks fenomena iklim global melalui Korelasi Pearson. Analisis spektral FFT terhadap Curah Hujan dan Indeks Fenomena Iklim Global di Sumatera Utara mengungkap variasi pola periodisitas tertinggi serupa di ketujuh titik pengamatan yaitu 12 Bulan. Indeks NINO 3.4 mempunyai korelasi paling kuat di Stasiun Maritim Belawan, Stasiun Meteorologi Kualanam, Stasiun Geofisika Deli Serdang, dan Stasiun Meteorologi Binaka dengan nilai korelasi secara berurut 0.1958, 0.1695, 0.1352, dan 0.1532. WNPMI (*Western North Pacific Monsoon Index*) mempunyai nilai korelasi paling kuat di Stasiun Klimatologi Sumatera Utara dan Stasiun Meteorologi FL

Tobing dengan nilai korelasi berurut 0.0900 dan 0.1614. DMI (*Dipole Mode Index*) mempunyai nilai korelasi paling kuat di Stasiun Meteorologi Aek Godang dengan nilai korelasi 0.1813. Dari hasil korelasi pearson menunjukkan nilai hubungan korelasi yang terkuat memiliki nilai korelasi < 0.2, nilai ini menunjukkan korelasi yang lemah antara Indeks Faktor Iklim Global dengan Pola Curah Hujan di Sumatera Utara.

Kata kunci: Periode, Curah Hujan, FFT, Variabilitas Iklim Global, Korelasi Pearson

ABSTRACT

North Sumatra Province has rainfall variability and patterns that are influenced by various global climate variability phenomena such as Dipole Mode, IOD (Indian Ocean Dipole), Madden Julian Oscillation (MJO) and ENSO (El Niño-Southern Oscillation). To see the activity and influence of each of these global climate phenomena, several indices are used, Dipole Mode Index (DMI) for IOD, Australian Monsoon Index (AUSMI) and Western North Pacific Monsoon Index (WNPMI) for Monsoon Circulation, and NINO 3.4 Index for ENSO phenomenon. This study uses 30 years of monthly rainfall data which is spectrally analysed using FFT (Fast Fourier Transform), then correlates and analyses the periodicity pattern of rainfall to the global climate phenomenon index through Pearson Correlation. FFT spectral analysis of Rainfall and Global Climate Phenomenon Index in

North Sumatra reveals the highest variation of periodicity pattern is similar in all seven observation points which is 12 Months. The NINO 3.4 index has the strongest correlation at Belawan Maritime Station with Kualanamu Meteorological Station, Deli Serdang Geophysical Station, and Binaka Meteorological Station with correlation values of 0.1958, 0.1695, 0.1352, and 0.1532, respectively. WNPMI (Western North Pacific Monsoon Index) has the strongest correlation value at North Sumatra Climatological Station and FL Tobing Meteorological Station with a

correlation value of 0.0900 and 0.1614 respectively. DMI (Dipole Mode Index) has the strongest correlation value at Aek Godang Meteorological Station with a correlation value of 0.1813. From the results of the strongest Pearson correlation shows the strongest correlation relationship value has a correlation value <0.2 , this value indicates a weak correlation between the Global Climate Factor Index and Rainfall Patterns in North Sumatra.

Keywords: Period, Rainfall, FFT, Global Climate Variability, Perason Correlation

1. Pendahuluan

Sumatera Utara (Sumut) adalah salah satu provinsi di wilayah Sumatera Bagian Utara (Sumbagut) yang secara astronomis terletak pada koordinat 1° - 4° Lintang Utara (LU) dan 98° - 100° Bujur Timur (BT). Secara geografis wilayah Sumut memiliki karakteristik yang unik dan strategis karena terletak di sekitar garis ekuatorial, dilalui oleh pegunungan Bukit Barisan, dan diapit oleh dua perairan yaitu Selat Malaka dan Samudera Hindia [1]. Provinsi Sumatera Utara yang menjadi salah satu bagian dari Negara Indonesia inilah yang menjadikan wilayah tersebut memiliki iklim tropis. Daerah tropis di ekuatorial mempunyai variasi suhu yang kecil, namun variasi curah hujannya cukup besar. Oleh karena itu, curah hujan menjadi salah satu unsur iklim yang paling sering diamati [2].

Curah hujan di Provinsi Sumatera Utara relatif cukup tinggi yaitu berkisar 1.431 - 2.265 mm per tahun dengan jumlah hari hujan rata-rata sebesar 173 - 230 hari per tahun. Musim kemarau pada umumnya terjadi pada Juni sampai September dan musim penghujan terjadi pada bulan November sampai Maret. Variabilitas iklim global di Sumatera Utara umumnya dipengaruhi oleh beberapa fenomena yaitu *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO), *Dipole Mode*, IOD (Indian Ocean Dipole) dan *Madden Julian Oscillation* (MJO).

ENSO merupakan fenomena cuaca dan variasi suhu muka laut yang terjadi di wilayah Samudera Pasifik Tengah. Secara umum, fenomena ini memiliki siklus waktu selama 2 hingga 7 tahun (WMO, 2014). ENSO memiliki

dua fase yaitu fase El Nino dan fase La Nina [3]. Keberadaan ENSO dapat mempengaruhi keadaan curah hujan di wilayah Sumatera Utara. Pada saat terjadi fenomena El Nino tahun 1997/1998, Indonesia pada umumnya mengalami musim kering yang panjang sedangkan saat terjadi La Nina tahun 1999 Indonesia mengalami kenaikan curah hujan yang tinggi dan kenaikan tinggi muka air laut sebesar 20-30 cm sehingga menyebabkan banjir di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama wilayah pesisir [4].

Dipole Mode merupakan fenomena atmosfer dan laut ditandai dengan adanya perbedaan anomali suhu muka laut di perairan Indonesia sekitar Sumatra dan Jawa dengan perairan pantai timur. *Dipole Mode* memiliki dua periode yaitu *Dipole Mode* positif dan *Dipole Mode* negatif. *Dipole Mode* positif merupakan periode dimana suhu muka laut di pantai timur Afrika lebih panas dibandingkan suhu muka laut di pantai barat Sumatera, sedangkan *Dipole Mode* negatif terjadi jika suhu permukaan laut di perairan barat Sumatra lebih tinggi daripada pantai timur Afrika [3].

IOD adalah fenomena pergerakan massa udara di wilayah Samudera Hindia yang disebabkan oleh perbedaan anomali suhu permukaan laut antara Samudera Hindia bagian barat (sekitar wilayah Afrika) dan timur (sekitar wilayah Indonesia). Untuk wilayah Indonesia, IOD dianggap aktif jika indeksinya bernilai negatif, menandakan pergerakan massa udara menuju wilayah Indonesia sehingga mengakibatkan peningkatan curah hujan di wilayah Indonesia.

Fenomena MJO adalah gangguan tropis yang merambat dari barat ke arah timur sepanjang daerah tropis dengan siklus 30-60 hari yang menyebabkan peningkatan atau penurunan curah hujan pada wilayah tropis utamanya di Samudra Hindia dan Pasifik [5].

Fenomena cuaca skala global merupakan sebuah pola siklus yang akan terus terjadi. Dalam hal ini, analisis perhitungan dapat digunakan untuk melihat pola cuaca pada suatu daerah tertentu. Salah satu analisis perhitungan yang dapat digunakan adalah analisis spektral. Analisis ini telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk menentukan pola cuaca di suatu daerah. Beberapa penelitian menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) yang merupakan bagian dari analisis spektral untuk mengkaji pola hujan berdasarkan periodisitas tertinggi [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi antara periodisitas curah hujan di wilayah Sumatera Utara terhadap variabilitas iklim global (ENSO, Dipole Mode, IOD, MJO) dengan perhitungan analisis spektral menggunakan metode *Fast Fourier Transform* untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Ini memungkinkan untuk menganalisis komponen periode dari sinyal dan menampilkan pola seperti amplitudo atau fase pada frekuensi tertentu.

2. Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dan deskriptif. Metode Kuantitatif didasarkan penggunaan data-data (angka) yang dikumpulkan. Penelitian ini menggunakan data bulanan selama 30 tahun (1993 – 2022). Data-Data tersebut meliputi data Curah Hujan beserta data Indeks Variabilitas Iklim Global (*Dipole Mode Index*/DMI, *Australian Monsoon Index*/AUSMI, *Western North Pacific Monsoon Index*/WNPMI, dan NINO 3.4) yang diambil dari APEC Climate Center (APCC) penyedia layanan iklim domestik dan internasional beserta *ensemble forecast* iklim. Masing-masing indeks telah digunakan diberbagai penelitian dalam analisis curah hujan [6 - 9] dan digunakan dalam operasional BMKG. Metode Deskriptif didasarkan pada analisis dan interpretasi periodogram dari indeks DMI, AUSMI, WNPMI, NINO 3.4, dan curah hujan yang telah diproses dengan FFT (*Fast Fourier Transform*),

Kemudian menghubungkan dan menganalisis pola periodisitas melalui Korelasi Pearson.

Penelitian ini menggunakan Google Collaboratory yang merupakan *software* data science dalam format Jupyter Notebook berbentuk cloud yang dijalankan menggunakan browser yang dapat digunakan untuk menyimpan, menulis, serta membagikan program yang telah ditulis melalui Google Drive [10]. *Module* seperti Numpy, Scipy, Matplotlib, dan Panda digunakan untuk memproses data agar menghasilkan periodogram curah hujan beserta fenomena iklim global dan korelasi curah hujan terhadap fenomena iklim global [11–14]. Untuk *Fast Fourier Transform* (FFT) dan Korelasi Pearson menggunakan *packages* dari *module* Numpy dan Scipy. Adapun *packages* yang digunakan adalah *scipy.fftpack* dan *numpy.fft*. Secara matematis FFT yang diimplementasikan di dalam *module* Numpy dirumuskan sebagai berikut:

$$A_k = \sum_{m=0}^{n-1} a_m \exp \left\{ -2\pi i \frac{mk}{n} \right\} \\ k = 0, \dots, n - 1. \#(1)$$

Sebuah komponen *single-frequency* pada linear frequency (\square) direpresentasikan sebagai sebuah eksponensial kompleks:

$$a_m = \exp\{2\pi i f m \Delta t\} \#(2)$$

Bentuk *inverse*-nya dirumuskan dengan:

$$a_m = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} A_k \exp \left\{ 2\pi i \frac{mk}{n} \right\} \\ m = 0, \dots, n - 1. \#(3)$$

Selain FFT, Numpy juga memiliki implementasi Korelasi Pearson (*Return Pearson product-moment correlation coefficients*) dengan nilai (R) antara -1 dan 1. Dirumuskan dengan hubungan antara *correlation coefficient matrix* (R) dan *covariance matrix* (C):

$$R_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sqrt{C_{ii}C_{jj}}} \#(4)$$

Dari proses FFT, periodogram akan diplot untuk 7 titik pengukuran curah hujan dan hasil

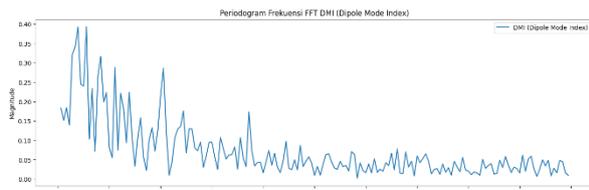
kemudian akan diambil 3 puncak periode tertinggi untuk melihat pola curah hujan di suatu daerah. Begitupun untuk indeks fenomena iklim global. Terakhir akan dilakukan Korelasi Pearson untuk melihat hubungan antara curah hujan di titik tertentu dengan fenomena iklim global. Adapun profil dari titik UPT BMKG dan Pos Hujan yang diambil di Provinsi Sumatera Utara sebagai berikut:

Tabel 1. Profil dari UPT BMKG dan Pos Hujan di Provinsi Sumatera Utara

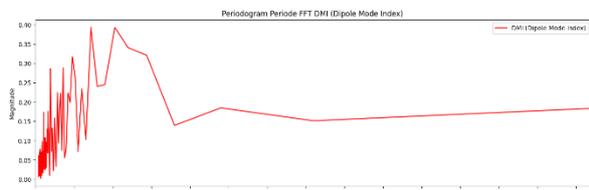
Nama	Lintang	Bujur	Elevasi
Stasiun Klimatologi Sumatera Utara	3.62114	98.71485	25
Stasiun Meteorologi Maritim Belawan	3.78824	98.71492	3
Stasiun Meteorologi Kualanamu	3.64573	98.88488	23
Stasiun Geofisika Deli Serdang	3.501	98.56	86
Stasiun Meteorologi Aek Godang	1.55	99.45	281
Stasiun Meteorologi FL Tobing	1.55	98.88	10
Stasiun Meteorologi Binaka	1.1649	97.7036	7

3. Hasil dan Pembahasan

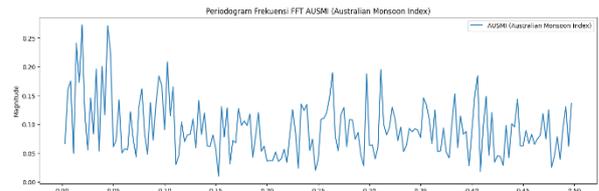
Hasil analisis spektral menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) terhadap Indeks Fenomena Iklim Global sebagai berikut.



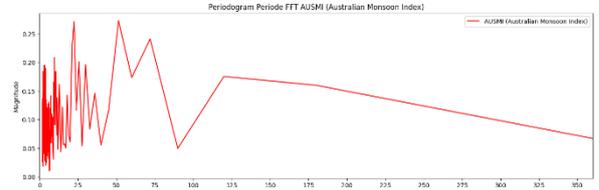
Gambar 1. Periodogram Frekuensi FFT Dipole Mode Index (DMI)



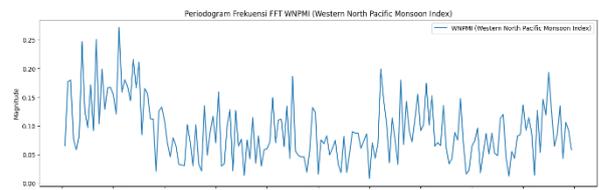
Gambar 2. Periodogram Periode FFT Dipole Mode Index (DMI)



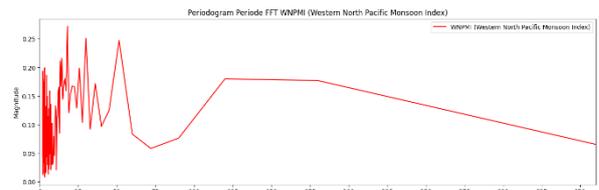
Gambar 3. Periodogram Frekuensi FFT Australian Monsoon Index (AUSMI)



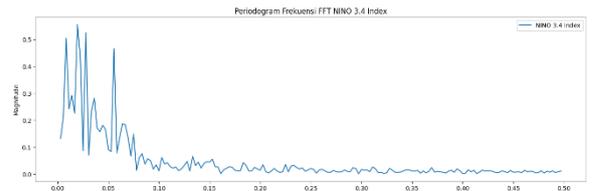
Gambar 4. Periodogram Periode FFT Australian Monsoon Index (AUSMI)



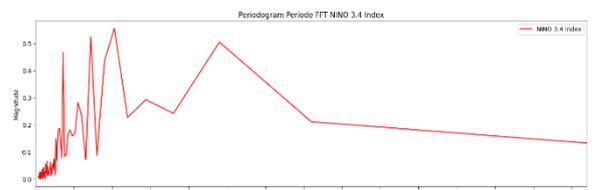
Gambar 5. Periodogram Frekuensi FFT Western North Pacific Monsoon Index (WNPMI)



Gambar 6. Periodogram Periode FFT Western North Pacific Monsoon Index (WNPMI)



Gambar 7. Periodogram Frekuensi FFT Indeks NINO 3.4

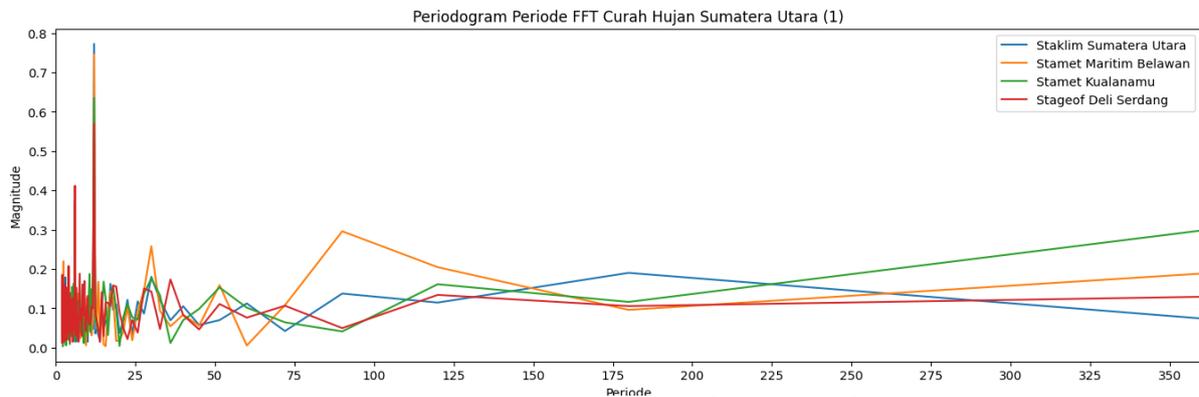


Gambar 8. Periodogram Periode FFT Indeks NINO 3.4

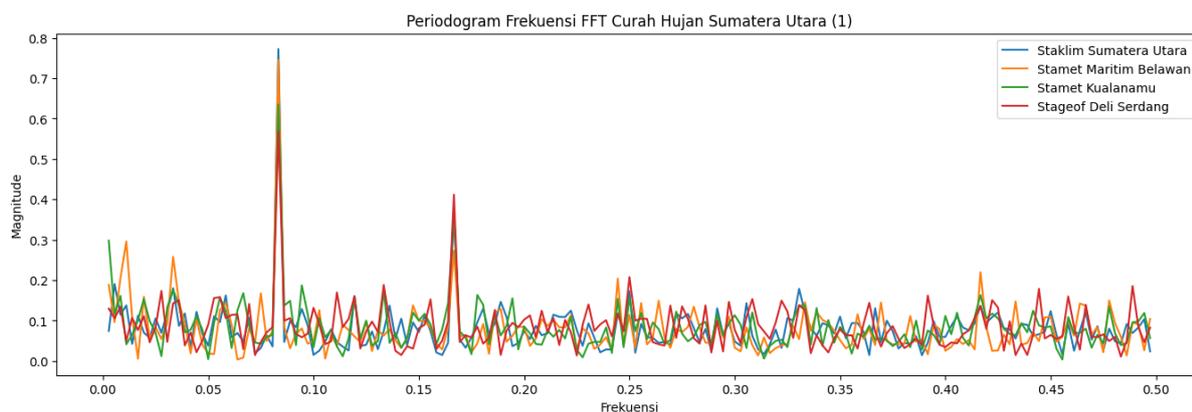
Gambar 1 dan 2 merupakan *Dipole Mode Index* (DMI) dimana didapati secara berurut dari puncak pertama, puncak kedua, dan puncak ketiga dengan nilai magnitudo 0.39, 0.39, 0.32. adalah 34 Bulan, 52 Bulan, dan 24 Bulan. Untuk Australian Monsoon Index (AUSMI) terdapat pada Gambar 3 dan 4, secara berurut dengan nilai magnitudo 0.27, 0.27, 0.24 adalah 23 Bulan, 51 Bulan, dan 71 Bulan. Untuk *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) terdapat pada Gambar 5 dan 6, secara berurut dengan nilai magnitudo 0.27, 0.25, 0.25 adalah 19 Bulan, 27 Bulan, dan 51 Bulan. Untuk Indeks NINO 3.4 terdapat pada Gambar 7 dan 8, secara berurut dengan nilai magnitudo 0.56, 0.53, 0.50 adalah 52 Bulan, 32 Bulan, dan 120 Bulan.

Tabel 2. Profil dari UPT BMKG dan Pos Hujan di Provinsi Sumatera Utara

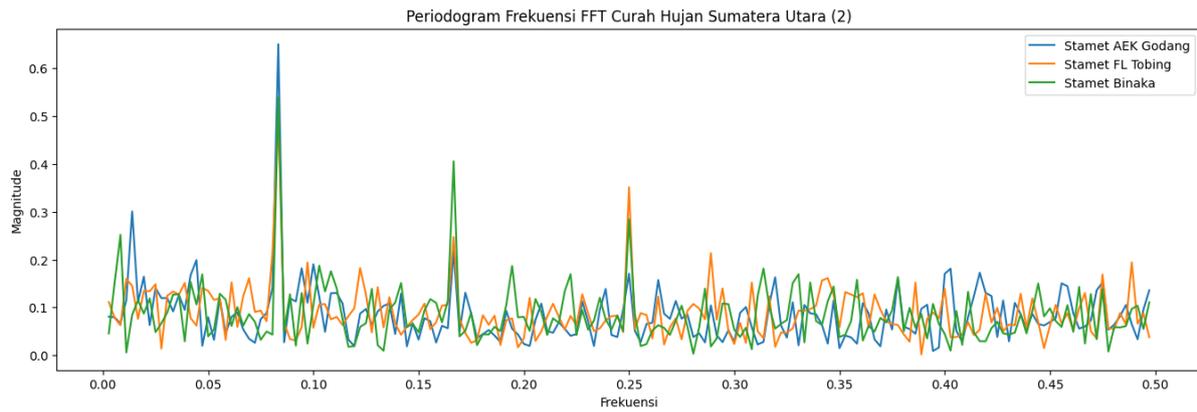
Nama	Puncak Periode		
	Ke-1	Ke-2	Ke-3
Stasiun Klimatologi Sumatera Utara	12	6	180
Stasiun Meteorologi Maritim Belawan	12	90	6
Stasiun Meteorologi Kualanamu	12	6	360
Stasiun Geofisika Deli Serdang	12	6	4
Stasiun Meteorologi Aek Godang	12	72	6
Stasiun Meteorologi FL Tobing	12	4	6
Stasiun Meteorologi Binaka	12	6	4



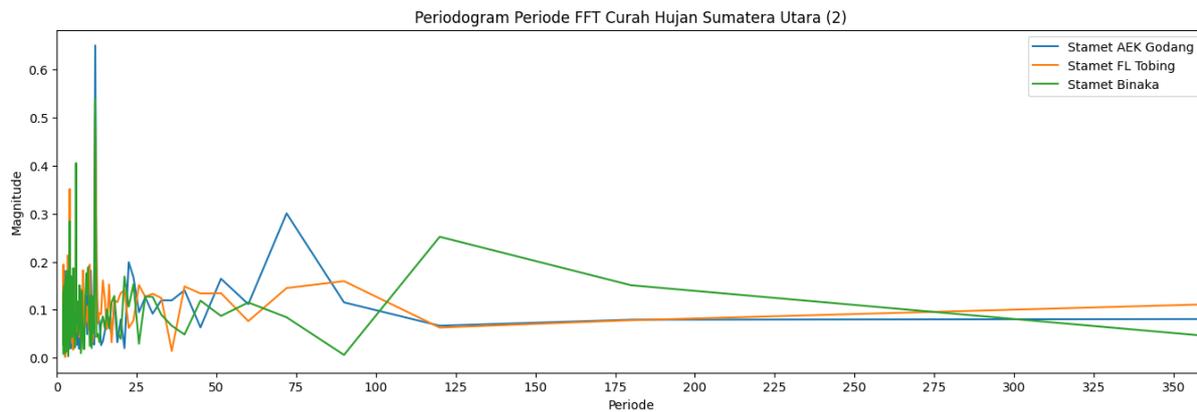
Gambar 9. Periodogram Frekuensi FFT Curah Hujan Sumatera Utara (1)



Gambar 10. Periodogram Periode FFT Curah Hujan Sumatera Utara (1)



Gambar 11. Periodogram Frekuensi FFT Curah Hujan Sumatera Utara (2)



Gambar 12. Periodogram Periode FFT Curah Hujan Sumatera Utara (2)

Hasil analisis spectral menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) terhadap Curah Hujan di 7 titik di Provinsi Sumatera Utara yang diplot terpisah menjadi dua bagian agar hasil yang ditampilkan lebih jelas. Bagian pertama terdapat pada Gambar 9 dan 10, periodogramnya berisi analisis spektral untuk Stasiun Klimatologi Sumatera Utara, Stasiun Meteorologi Maritim Belawan, Stasiun Meteorologi Kualanamu, dan Stasiun Geofisika Kualanamu. Puncak Periode tertinggi dari keempat titik di bagian pertama berada di Bulan 12, artinya ada kecenderungan pengulangan yang kuat setiap 12 Bulan Sekali. Hal yang sama juga terjadi pada ketiga titik yang berada di bagian kedua pada gambar 11 dan 12, di mana puncak periode tertingginya juga berada di Bulan 12. Untuk lebih detail, puncak periode curah hujan bisa dilihat di Tabel 2. Hasil Periodogram UPT BMKG di Provinsi Sumatera Utara.

Dari data yang didapat terkait tujuh puncak periode tertinggi, didapati bahwa wilayah Provinsi Sumatera Utara memiliki karakteristik pola pengulangan curah hujan yang serupa di ketujuh titik pengamatan yaitu berada di 12 Bulan. Pengulangan 12 Bulan disebabkan oleh faktor tahunan terutama gerak semu matahari

yang menyebabkan adanya pengulangan pola hujan setiap tahun. Hal ini belum menjawab terkait pengaruh Fenomena Iklim Global terhadap pengulangan pola curah hujan di ketujuh titik pos hujan di Sumatera Utara. Untuk bisa melihat gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh Fenomena Iklim Global, dapat dilakukan analisis Korelasi Pearson Curah Hujan terhadap Indeks Fenomena Iklim Global (DMI, AUSMI, WNPMI, NINO 3.4).

Korelasi Pearson digunakan untuk melihat hubungan positif atau negatif dari masing-masing Pos Hujan terhadap Indeks. Hasilnya dapat dilihat di Tabel 3, dimana korelasi paling kuat antara Curah Hujan dengan Indeks Iklim adalah Indeks NINO 3.4 di 4 Stasiun, Indeks WNPMI di 2 Stasiun, dan DMI di 1 Stasiun. Indeks NINO 3.4 mempunyai korelasi paling kuat di Stasiun Maritim Belawan dengan Stasiun Meteorologi Kualanamu, Stasiun Geofisika Deli Serdang, dan Stasiun Meteorologi Binaka dengan nilai korelasi secara berurut 0.1958, 0.1695, 0.1352, dan 0.1532. WNPMI (*Western North Pacific Monsoon Index*) mempunyai nilai korelasi paling kuat di Stasiun Klimatologi Sumatera Utara dan Stasiun Meteorologi FL Tobing dengan nilai korelasi berurut 0.0900 dan

0.1614. DMI (*Dipole Mode Index*) mempunyai nilai korelasi paling kuat di Stasiun Meteorologi Aek Godang dengan nilai korelasi 0.1813.

Untuk korelasi paling lemah antara Curah Hujan dengan Indeks Iklim adalah AUSMI di 4 Stasiun, WNPMI di 2 Stasiun, dan DMI di 1 Stasiun. AUSMI memiliki korelasi paling lemah di Stamar Belawan, Stamet Kualanamu, Stamet FL Tobing, Stamet Binaka dengan nilai korelasi berurut - 0.0121, 0.0426, -0.0401, dan 0.0841. WNPMI memiliki korelasi paling lemah di Stageof Deli Serdang dan Stamet Aek Godang dengan nilai korelasi berurut 0.00037 dan 0.0672. DMI memiliki korelasi paling lemah di Staklim Sumut dengan nilai 0.0123.

Dari hasil korelasi terkuat menunjukkan nilai hubungan korelasi yang tertinggi dengan nilai < 0.2, nilai ini menunjukkan korelasi yang lemah antara Indeks Faktor Iklim Global dengan Pola Curah Hujan di Sumatera Utara, hal ini dapat disebabkan karena Curah Hujan di wilayah Sumatera Utara lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor lokal ataupun faktor-faktor lain seperti fase MJO dan Surge. Untuk nilai korelasi yang lemah menunjukkan nilai yang mendekati 0, artinya Indeks Iklim tadi tidak punya hubungan positif ataupun negatif dalam mempengaruhi Pola Curah Hujan di Sumatera Utara.

Tabel 3. Nilai (R) Korelasi Pearson Curah Hujan terhadap Indeks Fenomena Iklim Global

Nama Stasiun	DMI	AUSMI	WNPMI	NINO 3,4
Staklim Sumut	0,0123	-0,0778	0,0900	0,0761
Stamar Belawan	0,0837	-0,0121	0,1368	0,1958
Stamet Kualanamu	0,1169	0,0426	0,0790	0,1695
Stageof Deli Serdang	0,0907	-0,0717	0,0037	0,1352
Stamet Aek Godang	0,1813	0,1398	0,0672	0,1689
Stamet FL Tobing	0,1614	-0,0401	0,1667	0,1284
Stamet Binaka	0,0816	0,0841	0,1403	0,1532

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, menggunakan metode *Fast Fourier*

Transform dapat disimpulkan bahwa wilayah Provinsi Sumatera Utara memiliki karakteristik pola pengulangan curah hujan yang serupa di ketujuh titik pengamatan yaitu terjadi setiap 12 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan di wilayah Sumatera Utara memiliki pola tahunan. Dimana korelasi paling kuat antara Curah Hujan dengan Indeks Iklim adalah Indeks NINO 3.4 di 4 Stasiun, Indeks WNPMI di 2 Stasiun, dan DMI di 1 Stasiun. Dari hasil korelasi pearson terkuat menunjukkan nilai hubungan korelasi yang terkuat memiliki nilai korelasi < 0.2, nilai ini menunjukkan korelasi yang lemah antara Indeks Faktor Iklim Global dengan Pola Curah Hujan di Sumatera Utara. Untuk nilai korelasi yang lemah menunjukkan nilai yang mendekati 0, artinya Indeks Iklim tadi tidak punya hubungan positif ataupun negatif dalam mempengaruhi Pola Curah Hujan di Sumatera Utara.

Berdasarkan hasil penelitian ini, direkomendasikan untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji lebih dalam terkait faktor apa yang mempengaruhi Pola Curah Hujan di Sumatera Utara. Penelitian lebih lanjut tersebut dapat dilakukan dengan Menambahkan data Indeks Fenomena Iklim Global yang lain dan lebih banyak titik pengamatan.

Daftar Pustaka

- [1] Saragih, I. J. A. (2020). *Identifikasi Pola Diurnal Curah Hujan di Sumatera Utara (Studi Kasus Tahun 2019)*. Seminar Nasional Fisika 2020 (pp.24-27). Program Pascasarjana, Universitas Negeri Makassar.
- [2] Hermawan, E. (2007). Penggunaan Fast Fourier Transform Dalam Analisis Kenormalan Curah Hujan Di Sumatera Barat Dan Selatan Khususnya Saat Kejadian Dipole Mode. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 8(2), 79–86.
- [3] Novi, M. B., Muliadi., & Adriat, R. (2018). Pengaruh ENSO dan Dipole Mode Terhadap Curah Hujan di Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, 6(3), 210–213.
- [4] Bappenas. (2010). *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap – ICCSR Basis Saintifik: Analisis dan Proyeksi Kenaikan Muka Air Laut dan Cuaca Ekstrim*. Bappenas
- [5] Madden, R. A., & Julian, and P. R. (1971). Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40–50-day period. *Journal Atmospheric Science*, 29, 1109– 1123.
- [6] Bimprawira, A., & Rejeki, H. A. (2021). Keterkaitan Periodisitas Curah Hujan Di Daerah Pesisir Dan Pegunungan Provinsi Jawa Timur Dengan Variabilitas Cuaca Skala Global Dan Regional. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 22(2), 51–59. Retrieved from <https://doi.org/10.29122/jstmc.v22i2.4422>
- [7] Sagita, N., As'ari, & Wandayantolis. (2013). Analisis spektral data curah hujan di sulawesi utara. *Jurnal Mipa Unsrat Online*, 2(2), 133–139. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.35799/jm.2.2.2013.31>

- [8] Noya, V. H. P., Rumlawang, F. Y., & Lesnussa, Y. A. (2014). Aplikasi Transformasi Fourier untuk Menentukan Periode Curah Hujan (Studi Kasus: Periode Curah Hujan di Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku). *Jurnal Matematika Integratif*, 10(2), 85. Retrieved from <https://doi.org/10.24198/jmi.v10.n2.10251.85-94>
- [9] Hermawan, E. (2007). Penggunaan fast fourier transform alam analisis kenormalan curah hujan di sumatera barat dan selatan khususnya saat kejadian dipole mode. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 8(2), 79–86.
- [10] Bisong, E. (2019). *Google Colaboratory*. In *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform: A Comprehensive Guide for Beginners*. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4470-8_7
- [11] Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., ...Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585, 357–362.
- [12] Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., ...SciPy 1.0 Contributors. (2020). SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272.
- [13] Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95.
- [14] McKinney, W., & others. (2010). Data structures for statistical computing in python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 445, 51–56. Al-Matarneh, L., Sheta, A., Bani-Ahmad, S., Alshaer, J., & Al-Oqily, I. (2014). Development of temperature-based weather forecasting models using neural networks and fuzzy logic. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(12), 343–366.

PEMANFAATAN TEKNIK RGB PADA CITRA SATELIT HIMAWARI-8 UNTUK ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER KEJADIAN BANJIR KABUPATEN BANDUNG 06 MEI 2023

UTILIZATION OF RGB TECHNIQUES IN SATELLITE IMAGERY HIMAWARI-8 FOR ATMOSPHERIC DYNAMICS ANALYSIS FLOODING EVENT IN BANDUNG DISTRICT 06 MAY 2023

Rizki Syahputra^{1*}, Yahya Darmawan²

^{1,2}Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Bintaro Utara Jl. Perhubungan I No.5, Pd. Betung, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten

*E-mail: yahya.darmawan@bmkgo.id

Naskah masuk: 19 Februari 2024 Naskah diperbaiki: 17 April 2024 Naskah diterima: 26 Juni 2024

ABSTRAK

Pada tanggal 6 Mei 2023, Kabupaten Bandung mengalami kejadian banjir yang disebabkan oleh hujan lebat. Hujan tersebut terjadi akibat ketidakstabilan atmosfer di wilayah tersebut, yang menyebabkan kerugian materiil yang signifikan bagi masyarakat terdampak. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, ditemukan bahwa pertumbuhan awan Cumulonimbus (Cb) berkontribusi besar terhadap kejadian ini. Untuk analisis lebih lanjut, digunakan teknik RGB citra satelit yang diolah menggunakan perangkat lunak Sataid GMSLPD. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mengenai penyebab utama dari hujan lebat dan banjir yang terjadi.

Kata kunci: RGB, Sataid, Banjir

ABSTRACT

On May 6, 2023, Bandung Regency experienced flooding caused by heavy rainfall. This rain occurred due to atmospheric instability in the area, resulting in significant material losses for the affected communities. Based on the analysis conducted, it was found that the growth of Cumulonimbus (Cb) clouds significantly contributed to this event. For further analysis, RGB satellite imagery techniques processed using the Sataid GMSLPD software were utilized. The results of this study provide insights into the main causes of the heavy rainfall and flooding that occurred.

Keywords: RGB, Sataid, Flood

1. Pendahuluan

Banjir adalah kejadian dimana terjadinya peningkatan air di atas tingkat normal yang mengakibatkan perendaman suatu wilayah atau lahan yang biasanya tidak tergenang air dalam jangka waktu tertentu. Biasanya, banjir disebabkan oleh hujan terus-menerus yang menyebabkan air sungai, danau, laut, atau sistem drainase meluap karena aliran air melebihi kapasitasnya dan tidak dapat segera meresap ke dalam tanah yang dilaluinya [1]. Seperti halnya kejadian banjir dan longsor, curah hujan diketahui menjadi penyebab utama

terutama bila dilihat dari intensitas, durasi serta distribusinya [2]. Indonesia sebagai negara tropis yang terletak di lintang ekuator, menerima lebih banyak panas matahari dibandingkan dengan belahan bumi lainnya, yang turut berkontribusi terhadap risiko banjir.. Wilayah Indonesia juga memiliki wilayah lautan yang lebih luas dibandingkan wilayah daratan [3]. Banjir dapat terjadi akibat naiknya permukaan air lantaran curah hujan yang diatas normal, perubahan suhu, tanggul/bendungan yang bobol, pencairan salju yang cepat, terhambatnya aliran air di tempat lain, sedangkan diperkotaan genangan lokal terjadi

pada saat musim hujan, skala banjir yang terjadi cukup besar dan belum dapat dikendalikan secara dominan [4].

Pada tanggal 6 Mei 2023 tepatnya pukul 01.00-04.00 WIB terjadi hujan lebat di daerah Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Akibatnya beberapa kecamatan di Bandung mengalami banjir. Menurut laporan banjir terjadi di wilayah Dayeuh Kolot dan Rancamanyar, Kabupaten Bandung. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika wilayah Bandung mencatat curah hujan 60 milimeter termasuk dalam kategori hujan lebat dalam kategori hujan harian. Tercatat curah hujan pada pukul 01.00 hingga 04.00 WIB mencapai 40,3 milimeter atau termasuk dalam kategori hujan sangat lebat dalam kategori hujan per jam. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai dinamika atmosfer dan lautan sangat penting, terutama terkait proses pembentukan uap air, awan, curah hujan, dan pelepasan panas laten ke atmosfer oleh kluster awan penghasil hujan yang besar. Proses-proses ini akan mempengaruhi sirkulasi atmosfer global. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis dinamika atmosfer yang menjadi penyebab terjadi banjir di wilayah Bandung pada tanggal 6 Mei 2023 dengan memanfaatkan citra satelit Himawari-8 yang diolah menggunakan software SATAID. Satelit Himawari-8 merupakan satelit cuaca meteorologi geostasioner yang menjadi generasi penerus satelit MTSAT 2 yang diluncurkan pada tahun 2015 oleh JMA yang berfungsi untuk mengamati parameter meteorologi misalnya untuk mengamati perkembangan awan cumulonimbus [5].

Himawari-8 memiliki 3 kanal visibel, 3 kanal infra merah-dekat (near infrared/NIR), dan 10 kanal Infrared (IR). Resolusi spasial Himawari-8 adalah 0,5 km dan 1 km untuk kanal cahaya tampak (visible), 2 km untuk kanal IR, serta 1 km dan 2 km untuk kanal NIR. Setiap panjang gelombang memiliki fungsi dan karakteristik tersendiri (lihat Tabel 1). Untuk resolusi temporal, Himawari-8 menyediakan pengamatan global setiap 10 menit dan pengamatan khusus setiap 2,5 menit. [6]. Dengan banyaknya kanal yang tersedia pada satelit Himawari-8, pengguna dapat membuat produk RGB (*red, green, blue*) dengan menggabungkan beberapa kanal tersebut. [7].

Pada studi kasus ini digunakan Teknik RGB (*Red-Green-Blue*) dalam pengolahan data citra satelit Himawari-8 dimana teknik RGB (*Red-Green-Blue*) sendiri merupakan satu teknik RGB (*Red- Green- Blue*) merupakan satu

teknik interpretasi memanfaatkan konsep model warna dengan suatu warna yang dihasilkan untuk menganalisis kondisi tertentu yang ada berasal dari 3 warna primer (*primary colour*) yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) dan kombinasi dari 3 warna primer tersebut menghasilkan warna-warna turunan (*secondary colour*) kuning, magenta, cyan, coklat, hitam dan putih [8].

Pengolahan data citra satelit menggunakan teknik RGB bertujuan untuk menggabungkan beberapa kanal panjang gelombang menjadi satu citra yang memuat informasi lebih lengkap dibandingkan dengan citra satu kanal saja. Dalam studi kasus ini, produk teknik RGB yang digunakan untuk menganalisis dinamika atmosfer mencakup Air Mass, yang berfungsi untuk memantau pergerakan massa udara, dan *Night Microphysics*, yang digunakan untuk mengamati proses mikrofisis awan. *Night Microphysics* memberikan informasi tentang pelepasan energi (panas laten) dari uap air yang berubah menjadi inti kondensasi dan tetesan air. Sesuai dengan namanya, teknik ini digunakan untuk analisis yang dilakukan pada malam hari.

Tabel 1. Karakteristik Kanal Panjang Gelombang pada AHI (Pandjaitan, 2015) [6].

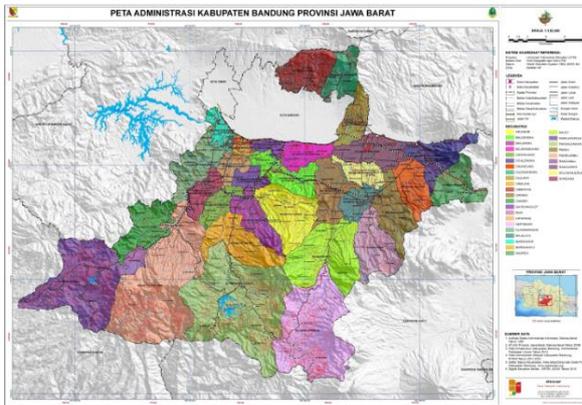
Kanal AHI Himawari: Informasi dari Panjang Gelombang, Resolusi, dan Contoh Penggunaannya				
Jenis Panjang gelombang	Kanal	Panjang Gelombang Tengah (μm)	Resolusi (km)	Contoh Penggunaan
Vis	1	0.47	1	Daytime aerosols di daratan, coastal water mapping
	2	0.51	1	Water/ocean color, termasuk deteksi terhadap algal blooms; menunjukkan true color imagery ketika dikombinasikan dengan kanal biru dan merah (Kanal visible 1 dan 3)
	3	0.64	0.5	Daytime cloud, kabut, insulasi, angin
Near-IR	4	0.86	1	Daytime vegetation, bekas kebakaran, aerosol sepanjang perairan, angin
	5	1.6	2	Fase Daytime cloud-top dan ukuran partikel, salju
	6	2.3	2	Daytime land/cloud properties, ukuran partikel, vegetasi, salju
SW IR	7	3.9	2	Permukiman dan awan, kabut pada malam hari, api, angin
IR (WV)	8	6.2	2	Uap air atmosfer level tinggi, angin, curah hujan
	9	6.9	2	Uap air atmosfer level menengah, angin, curah hujan
	10	7.3	2	Uap air level rendah, angin, SO ₂
LW IR	11	8.6	2	Total water untuk stabilitas, fase awan, dust, SO ₂ , curah hujan
	12	9.6	2	Total column ozone, turbulensi, angin
	13	10.4	2	Permukiman dan awan
	14	11.2	2	Imagery, sea surface temperature (SST), awan, curah hujan
	15	12.4	2	Total column water vapor, ash, SST
	16	13.3	2	Suhu udara, tinggi dan jumlah awan

SW: Shortwave LW: Longwave WV: Water vapor

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam analisis terdiri dari data:

- a. Data satelit Himawari-8 kanal 7, kanal 8, kanal 10, kanal 11, kanal 12, kanal 13, kanal 14, dan kanal 15 untuk tanggal 20 Februari 2017 dalam format sataid (.z) dari subbid pengelolaan citra satelit BMKG .
- b. Data laporan curah hujan harian Stasiun Geofisika Bandung.



Gambar 1. Lokasi penelitian (sumber: Petatematikindo)

Metode analisis satelit yang menggunakan perangkat lunak Sataid GMSLPD adalah sebuah pendekatan yang mengolah data biner dari satelit menjadi citra visual. Perangkat lunak ini beroperasi pada sistem Windows dan digunakan secara rutin oleh Badan Meteorologi Jepang (JMA) untuk analisis cuaca harian serta pemantauan siklon tropis. Salah satu varian dari perangkat lunak SATAID, yaitu GMSLPD, dikhususkan untuk analisis mendalam mengenai siklon tropis (10). Dalam analisis identifikasi awan sendiri metode yang digunakan meliputi Night Microphysics, RGB Airmass, dan CCO (Cloud convective Overlays) yang diolah menggunakan Sataid GMSLPD dan Open GrADS. Teknik CCO (Convective Cloud Overlays) merupakan teknik yang memanfaatkan kanal 13, 15 dan 8 pada satelit Himawari-8 sehingga dapat menampilkan persebaran awan konvektif [10].

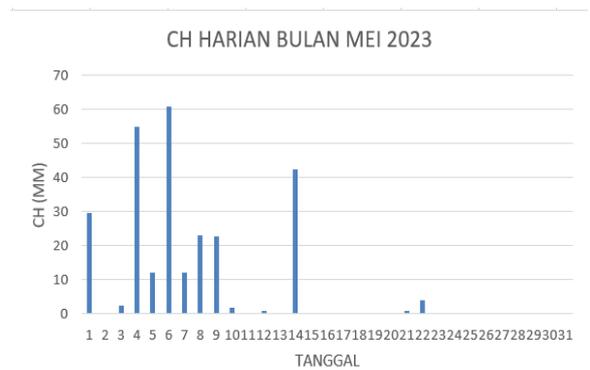
Untuk lokasi penelitian sesuai dengan yang dilihat pada gambar 1. Untuk pengaturan dari teknik RGB pada Night Microphysics menggunakan pengaturan Red (IR12.3 μm – IR10.4 μm), Green (IR10.4 μm - NIR3.9 μm), Blue (IR 10.4 μm). Pada Air Mass menggunakan pengaturan Red (WV6.2 μm – WV7.3 μm), Green (IR9.7 μm – IR10.8 μm), Blue (WV6.2 μm) [9]. Dalam pengaturan RGB dan penggunaan kanal digunakan sesuai dengan karakteristik fenomena yang akan diamati dan juga akan ada rentang nilai dalam kegunaan setiap kanal dan penetapan gamma.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis kondisi spasial

a. Analisis Curah Hujan

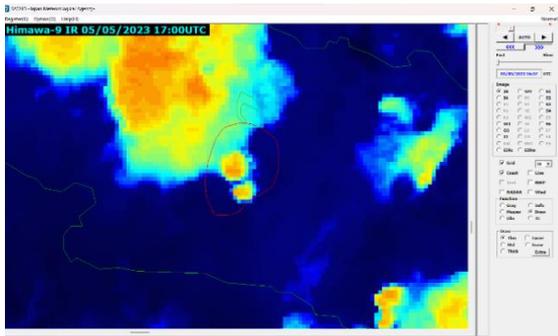
Peristiwa banjir dilaporkan terjadi pada tanggal 6 Mei 2023 saat curah hujan yang tinggi terjadi pada hari itu juga. Seperti yang tertera dalam table 2, total curah hujan harian yang terjadi pada tanggal 6 Mei 2023 tergolong lebat. Pada waktu itu total curah hujan pada hari itu sebesar 60,8 mm/hari. Menurut BMKG, klasifikasi curah hujan harian dapat dikategorikan hujan sedang apabila curah hujan berkisar 21-50 mm/hari, hujan lebat apabila curah hujan berkisar 51-100 mm/hari dan hujan sangat lebat apabila curah hujan >100 mm/hari. Dapat dilihat pada tabel 2. curah hujan harian tertinggi terjadi pada tanggal 6 Mei 2023. Jika dibandingkan dengan hari-hari lain, pada tanggal 6 Mei tergolong hujan lebat meskipun ada beberapa hari yang tergolong hujan lebat juga.



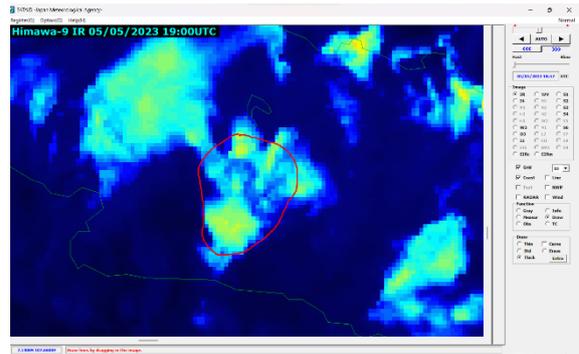
Gambar 2. Grafik curah hujan harian di Stasiun Geofisika Bandung.

b. Analisis Satelit

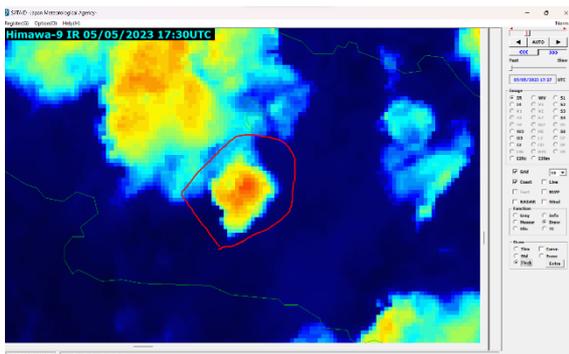
Menurut laporan dari BMKG hujan pada tanggal 6 Mei sendiri terjadi selama 3 jam yaitu pada pukul 18.00 – 21.00 UTC. Analisis awan-awan ini akan diolah menggunakan satelit cuaca Himawari-8 dengan melihat beberapa produknya. Hujan terjadi pada malam hari sehingga analisis dengan menggunakan kanal visible tidak bisa dilakukan. Oleh karena itu, hasil citra satelit Himawari-8 akan disesuaikan dengan kebutuhan untuk analisis dinamika atmosfer pada malam hari. Kanal yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi dinamika atmosfer pada malam hari yaitu kanal IR (IR 12,3 μm). Pada gambar 3. Merupakan citra infra merah penajaman (enhanced infrared).



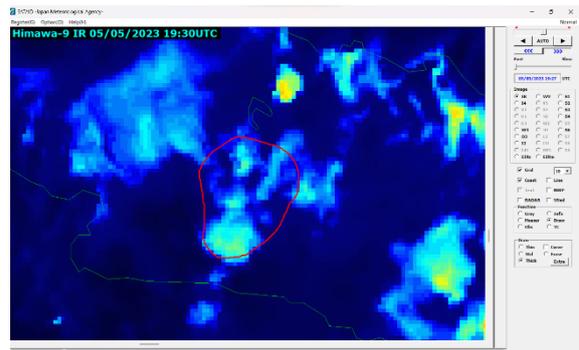
Gambar 3. Citra satelit IR 12.3 μm citra penajaman (enhanced) pukul 17.00 UTC pada tanggal 05 Mei 2023.



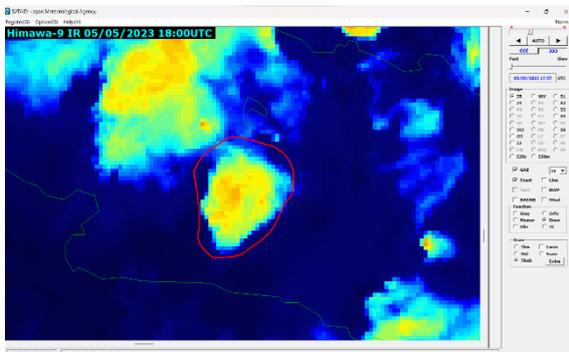
Gambar 7. Citra satelit IR 12.3 μm citra penajaman (enhanced) pukul 19.00 UTC pada tanggal 05 Mei 2023.



Gambar 4. Citra satelit IR 12.3 μm citra penajaman (enhanced) pukul 17.30 UTC pada tanggal 05 Mei 2023.

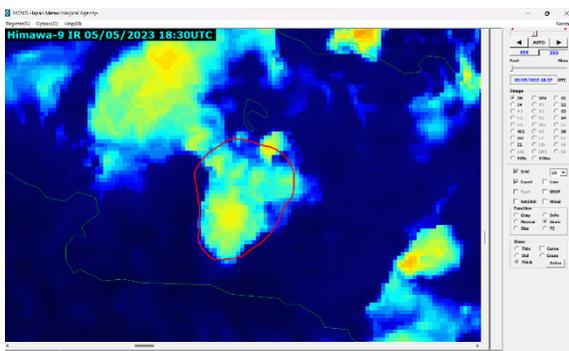


Gambar 8. Citra satelit IR 12.3 μm citra penajaman (enhanced) pukul, 20.00 UTC pada tanggal 05 Mei 2023.



Gambar 5. Citra satelit IR 12.3 μm citra penajaman (enhanced) pukul 18.00 UTC pada tanggal 05 Mei 2023.

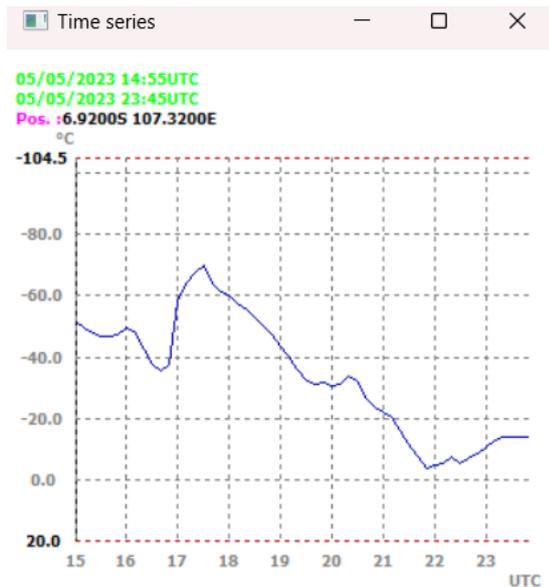
Dari hasil citra satelit IR tersebut dapat diperhatikan wilayah yang dibatasi garis merah merupakan wilayah yang terjadinya hujan lebat. Pada wilayah tersebut tertutup cakupan awan yang tebal yang ditandai dengan adanya warna merah menyala. Dapat diamati juga pada gambar 3. citra diambil dari pukul 17.00-20.00 UTC yang merupakan waktu terjadinya hujan, terpantau dari citra tersebut pada pukul 17.00 UTC terjadi pertumbuhan awan hingga pada pukul 17.30 UTC awan mulai matang hingga pada pukul 18.00 UTC. Awan perlahan mulai luruh pada pukul 18.30 UTC dan mulai hilang sempurna pada pukul 20.00 UTC. Dari hasil analisis pertumbuhan awan konvektif ini menjadikan salah satu sebab terjadi hujan lebat pada wilayah Kabupaten Bandung yang berakibat pada kejadian banjir.



Gambar 6. Citra satelit IR 12.3 μm citra penajaman (enhanced) pukul 18.30 UTC pada tanggal 05 Mei 2023.

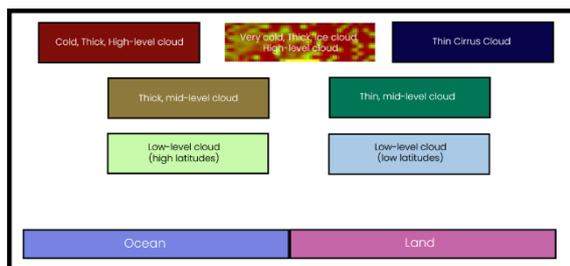
Terbentuknya awan cumulonimbus bisa diketahui suhu puncaknya dalam tampilan time series dari mulai pukul 15.00-23.00 UTC. Suhu puncak awan yang ditampilkan dalam grafik *time series* pada gambar 4. menurun drastis dari mulai pukul 16.30 UTC hingga 17.30 UTC, dari dibawah -30°C hingga pada sekitar pukul 17.30 UTC mencapai dibawah -70°C yang menjadikannya suhu paling rendah pada rentang waktu 15.00 UT hingga 23.00 UTC yang mengindikasikan

adanya awan Cb (Cumulonimbus) pada wilayah tersebut dimana suhu puncak awan Cb yaitu $\leq -50^{\circ}\text{C}$ (223°K) [11].

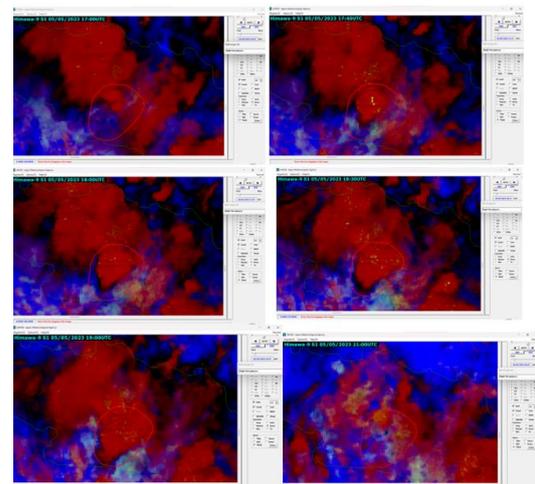


Gambar 9. Grafik time series suhu puncak awan pada tanggal 05 Mei 2023 pukul 15.00 hingga pukul 23.00 UTC.

Produk dari hasil olahan data Himawari-8 yang menggunakan perangkat lunak (software) Sataid GMSLPD dengan teknik RGB Night Microphysics disajikan pada gambar 10. Pola warna dihasilkan dari citra dengan Red (IR12.3 μm – IR10.4 μm), Green (IR10.4 μm - NIR3.9 μm), Blue (IR 10.4 μm) sebagai komponen yang mengindikasikan pola keberadaan awan dengan melihat proses mikrofisisnya [9].



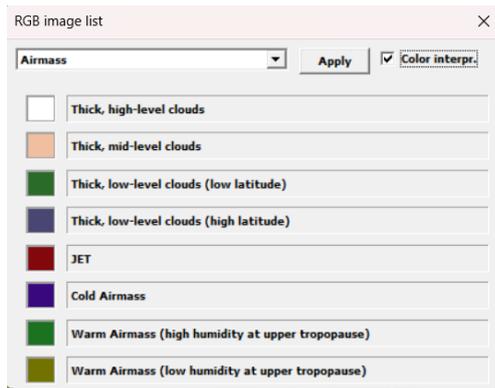
Gambar 10. Interpretasi Night Microphysics (Paski et al, 2017) [9].



Gambar 11. Citra satelit produk Night Microphysics pukul 17.00 UTC, 17.40 UTC, 18.00 UTC, 18.30 UTC, 19.00 UTC, dan 21.00 UTC pada tanggal 20 Februari 2017.

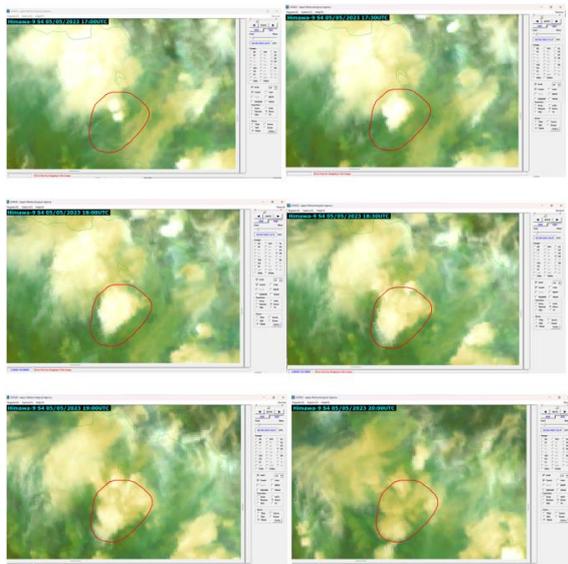
Pola warna merah menunjukkan adanya proses mikrofisis. Ketika citra semakin cerah dengan warna merah, ini menandakan bahwa proses tersebut semakin intensif dan suhu awan semakin rendah. Pola merah cerah dengan bintang kuning menunjukkan bahwa area tersebut memiliki suhu yang sangat rendah dibandingkan dengan sekitarnya. [9]. Pola titik-titik kuning yang tertera pada produk citra satelit mengartikan bahwasanya terdapat area *overshooting* pada awan tersebut. Klasifikasi yang terdapat pada gambar 4. Menjelaskan bahwa warna biru tua pada citra merupakan awan citrus sedangkan untuk warna merah muda mengindikasikan awan rendah seperti stratus dan cumulus.

Teknik RGB Airmass disajikan pada gambar 13. merupakan hasil olahan dari perangkat lunak (software) Sataid GMSLPD yang menghasilkan pola warna dari citra dengan Red (WV6.2 μm – WV7.3 μm), Green (IR9.7 μm – IR10.8 μm), Blue (WV6.2 μm). Daerah dengan warna hijau tua mengindikasikan adanya kandungan massa udara hangat dengan uap air yang tinggi. Awan Cumulonimbus (Cb) sendiri memerlukan uap air hangat untuk tumbuh dengan menggunakan proses konvergensi hingga awan cukup besar untuk menjadi awan Cumulonimbus (Cb).



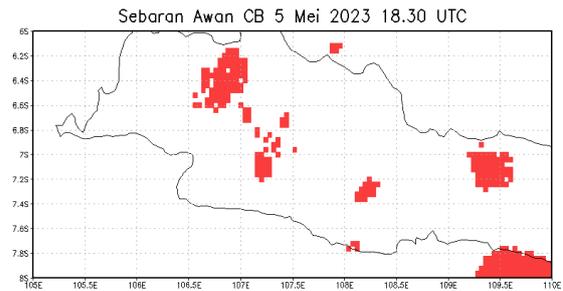
Gambar 12. Interpretasi Airmass

Dapat diperhatikan pada gambar 13. Pada pukul 17.00 UTC hingga pukul 17.30 UTC terlihat adanya pola warna hijau tua yang mengindikasikan adanya kandungan uap air yang tinggi sehingga pertumbuhan awan terlihat sangat signifikan pada pukul 18.00 UTC. Pola berwarna putih tebal pada sekitar pukul 18.00 UTC hingga 18.30 UTC mengindikasikan adanya awan Cb yang sudah matang dan setelah itu awan mulai luruh dengan ditandai warna putih yang semakin memudar pada pukul 19.00 UTC hingga 20.00 UTC.



Gambar 13. Citra satelit produk Air Mass pukul 17.00 UTC, 17.30 UTC, 18.00 UTC, 18.30 UTC, 19.00 UTC, dan 20.00 UTC pada tanggal 5 Mei 2023

Terlihat dari gambar yang diolah menggunakan Grads menunjukkan persebaran awan Cb yang terjadi di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Pada lingkaran hijau terlihat Bandung ada sebaran awan Cb yang menutupi daerah Bandung pada waktu tersebut. Pada pukul tersebut merupakan fase awan matang yang mengakibatkan hujan lebat yang terjadi di Bandung pada waktu itu.



Gambar 14. Peta Persebaran Awan Cumulonimbus dengan Teknik CCO

4. Kesimpulan

Pada saat terjadi banjir pada tanggal 06 Mei 2023 di Kabupaten Bandung, Jawa Barat pada hari itu juga terjadi hujan yang tergolong lebat dan juga dalam pantauan citra satelit Himawari-8 terlihat adanya awan Cb (Cumulonimbus) dengan suhu yang sangat rendah. Dari beberapa metode yang telah dilakukan dapat disimpulkan adanya ketidakstabilan atmosfer pada saat kejadian tersebut yang menyebabkan terjadinya hujan lebat hingga terjadilah banjir di Kabupaten Bandung.

Daftar Pustaka

- [1] Nurrahmah, Widiyanti. (2015). *Studi Fenomenologi Pengalaman Kesiapsiagaan Masyarakat Menghadapi Bencana Banjir Di RT 001 RW 012 Kelurahan Bintaro Kecamatan Pesanggrahan Jakarta Selatan 2015*. Skripsi. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- [2] Tjasyono, B. H., & Harijono, S. W. B. (2006). *Meteorologi Indonesia 2: Awan dan Hujan Monsun*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [3] Kharisma, S., & Widomurti, L. (2018). Analisis hujan lebat dengan menggunakan data citra satelit di kabupaten banjarnegara (studi kasus 18 juni 2016). *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 8(1), 36-43.
- [4] Sebastian, L. (2008). Pendekatan Pencegahan Dan Penanggulangan Banjir | Flood Prevention And Control Approach. *Dinamika Teknik Sipil*, 8, 162-169.
- [5] Hutagalung, M. O. R. (2022). Analisis kejadian hujan lebat berdasarkan kondisi atmosfer dan citra satelit himawari-8 (studi kasus kab. Bolaang mongondow utara, 4 maret 2020). *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, 3(2), 33-41.
- [6] Pandjaitan, B. dan Andersen, P., (2015). *Pemanfaatan Data Satelit Cuaca Generasi Baru Himawari 8 Untuk Mendeteksi Asap Akibat Kebakaran Hutan dan Lahan di Wilayah Indonesia (Studi Kasus: Kebakaran Hutan dan Lahan Di Pulau Sumatera Dan Kalimantan Pada Bulan September 2015)*. Paper dipresentasikan pada Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2015, Bogor, Indonesia.
- [7] Kushardono, D., (2012). Kajian Satelit Penginderaan Jauh Cuaca Generasi Baru Himawari 8 dan 9. *Jurnal Inderaja*, 3(5)

- [8] Fatkhuroyan, F., & Wati, T. (2017). Pemantauan Sebaran Abu Vulkanik Menggunakan Penginderaan Jauh Satelit Himawari-8 dan AURA/OMI (Ozone Mapping Instrument). *Majalah Ilmiah Globe*, 19(1), 33-44.
- [9] Paski, J. A. I., Sepriando, A., & Pertiwi, D. A. S. (2019). Pemanfaatan Teknik Rgb Pada Citra Satelit Himawari-8 Untuk Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Banjir Lampung 20 - 21 Februari 2017. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 4(3), 8-15.
- [10] Hastuti, M. I., & Mulsandi, A. (2017). Pemantauan Sebaran Awan Konvektif Menggunakan Metode Cloud Convective Overlays dan Red Green Blue Convective Storms pada Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Hujan Ekstrim Bima 21 Desember 2016). In Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4 Tahun (pp. 477-483). Paper dipresentasikan pada Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2017, Depok, Indonesia.
- [11] BMKG (2009) *Manual Sataid*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.

PEMANFAATAN PEMODELAN NEURAL PROPHET DALAM MEMPREDIKSI PARAMETER PM10 (STUDI KASUS DKI JAKARTA)

UTILIZATION OF NEURAL PROPHET MODEL IN PREDICTING PM10 PARAMETERS (CASE STUDY OF DKI JAKARTA)

Muhammad Aulia Zikri^{1*}, Juang Merdeka¹, Agung Hari Saputra¹

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan

*E-mail: auliazikri1809@gmail.com

Naskah masuk: 29 Desember 2023 Naskah diperbaiki: 7 Mei 2024 Naskah diterima: 12 Juli 2024

ABSTRAK

Kualitas udara adalah permasalahan serius di negara berkembang, terutama di DKI Jakarta, yang dipicu oleh jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat dan aktivitas industri. Penelitian ini menguji keefektifan model Neural Prophet dalam memprediksi konsentrasi PM10 sebagai indikator utama kualitas udara. Data harian dari Stasiun Pemantau Kualitas Udara DKI Jakarta selama periode 2018-2022 digunakan, dengan model dievaluasi. Data awal mengalami pengolahan dengan penyesuaian format tanggal dan penghilangan variabel yang tidak relevan. Model dikonfigurasi dengan *hyperparameter* yang telah ditentukan dan diuji menggunakan teknik *holdout*, dengan membagi data menjadi 95% data latihan dan 5% data uji. Evaluasi model menunjukkan penurunan signifikan dan menunjukkan pembelajaran yang efektif. Data deret waktu menunjukkan fluktuasi tahunan, terutama mencapai puncak dari Juni hingga Oktober. Prediksi model cukup sejalan dengan data aktual, meskipun dengan ketidakpastian pada beberapa titik. Penelitian ini menunjukkan bahwa Neural Prophet dapat memprediksi konsentrasi PM10 dengan akurasi yang memadai, berpotensi sebagai alat untuk manajemen, dan perencanaan kualitas udara di DKI Jakarta.

Kata kunci: Kualitas Udara, Neural Prophet, PM10

ABSTRACT

Air quality is a serious issue in developing country, especially in DKI Jakarta, driven by the increasing number of motor vehicles and industrial activities. This research examines the effectiveness of the Neural Prophet model in predicting PM10 concentrations as the primary air quality indicator. Daily data from DKI Jakarta's Air Quality Monitoring Station for the period 2018-2022 was used, with the model evaluated. Initial data underwent processing involving date format adjustments and the removal of irrelevant variables. The model was configured with predefined hyperparameters and tested using a holdout technique, splitting the data into a 95% training set and a 5% testing set. The model evaluation showed a significant reduction in errors, indicating effective learning. Time series data exhibited annual fluctuations, primarily peaking from June to October. The model's predictions aligned reasonably well with actual data, albeit with uncertainty at some points. This research demonstrates that Neural Prophet can predict PM10 concentrations with adequate accuracy, potentially serving as a tool for air quality management and planning in DKI Jakarta.

Keywords: Air Quality, Neural Prophet, PM10

1. Pendahuluan

Permasalahan kualitas dan pencemaran udara menjadi permasalahan yang sangat penting di negara berkembang [1]. Hal ini dikarenakan dapat menimbulkan banyak dampak buruk bagi kesehatan makhluk hidup, karena dapat menurunkan kesehatan makhluk hidup dan merusak lingkungan [2]. Pencemaran udara yang melewati ambang batas Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dapat menurunkan kesehatan masyarakat [3]. ISPU merupakan angka yang tidak memiliki satuan yang mengilustrasikan kondisi kualitas udara ambien di suatu lokasi dan didasarkan pada kesehatan manusia, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya [4].

Di antara banyaknya daerah yang menjadi sorotan karena kualitas udara yang buruk adalah DKI Jakarta. Salah satu penyebab hal ini adalah peningkatan jumlah kendaraan bermotor di DKI Jakarta [5]. Hal ini berkontribusi dalam peningkatan PM_{2.5} dan PM₁₀ [6]. Selain itu, listrik yang dihasilkan dari PLTU berbahan bakar batu bara dan konsumsi BBM, berkontribusi dalam peningkatan polusi udara, khususnya parameter PM_{2.5} dan PM₁₀ [7]. Paparan berbagai parameter ini dapat merugikan kesehatan manusia, khususnya penyakit pernapasan dan kardiovaskular [8].

Parameter kualitas udara PM₁₀ merupakan partikel polutan yang berukuran 10 mikron dan sangat berkaitan dengan kesehatan manusia [9]. Kadar PM₁₀ di udara menjadi parameter utama penyebab penurunan kualitas udara karena PM₁₀ dapat terkoagulasi dengan zat pencemar lainnya [1]. Penurunan dan kenaikan zat pencemar di udara berbanding lurus dengan kadar PM₁₀. Hal ini mengakibatkan konsentrasi yang bertambah seiring pertambahan waktu sehingga daerah penyebaran semakin luas [10]

Neural Prophet adalah suatu paket sumber terbuka yang dirumuskan oleh tim *science data* Facebook untuk memprediksi data berdasarkan model aditif dalam bentuk *time series* dan trend non-linear sesuai dengan musim tahunan, mingguan, harian, dan hari libur [11]. Prophet bekerja paling baik pada *time series* yang memiliki efek musiman yang tinggi dan sangat bagus dalam menggeser tren secara tepat akibat adanya data yang hilang [12]. Permodelan *Neural Prophet* ini membutuhkan data yang sangat banyak untuk diamati dalam interval waktu yang sangat panjang sehingga proses dan hasil estimasi peramalan dapat dilakukan dengan baik dan keakuratan yang

tinggi. Keakuratan pemodelan *Neural Prophet* dalam memodelkan polusi udara secara akurat tanpa menggunakan parameter meteorologi menjadikan pemodelan ini lebih disukai [13]. Namun, hanya sedikit penelitian yang memanfaatkan metode ini dalam pemodelan kualitas udara [14].

Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu menganalisis potensi dan akurasi pemodelan *Neural Prophet* dalam memprediksi indeks PM₁₀ di DKI Jakarta. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi perbandingan hasil prediksi dengan data aktual indeks PM₁₀ DKI Jakarta 2018-2022. Penelitian ini juga digunakan untuk mengevaluasi prediksi indeks PM₁₀ DKI Jakarta menggunakan pemodelan *machine learning* dengan metode regresi dan *time series*.

Penggunaan model *Neural Prophet* dalam pengelolaan kualitas udara telah dieksplorasi dalam beberapa penelitian. Cai [15] dan Singh [16] menyoroti kemampuan model tersebut dalam memprediksi kualitas udara, dengan mempertimbangkan efek musiman dan hari libur, serta kinerjanya yang unggul dibandingkan model prakiraan lainnya. Mao [17] semakin menyempurnakan hal ini dengan mengusulkan kerangka pembelajaran mendalam yang mengintegrasikan fitur-fitur temporal dari stasiun pemantauan kualitas udara, sehingga mencapai akurasi tinggi dalam prediksi jangka panjang. Raipure [18] memperluas penerapan model ini pada prakiraan jangka pendek dan spasial, dengan menekankan perannya dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi keputusan pengelolaan kualitas udara. Beberapa penelitian ini secara kolektif menunjukkan potensi model *Neural Prophet* dalam sistem pemantauan kualitas udara *realtime*, saran kesehatan masyarakat, dan strategi tanggap darurat selama kualitas udara buruk.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian berlokasi di wilayah DKI Jakarta dengan letak astronomis berada pada 5° 10' 00" LS – 6° 22' 21,5" LS dan 106° 41' 12,5" BT – 106° 58' 24,2" BT. Titik lokasi data pengamatan berada di 5 titik Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) DKI Jakarta, yaitu SPKU DKI1 Bundaran HI, SPKU DKI2 Kelapa Gading, SPKU DKI 3 Jagaraksa, SPKU DKI4 Lubang Buaya, SPKU DKI5 Kebon Jeruk. Data pengamatan di masing-masing titik akan dirata-ratakan dan menghasilkan Indeks Standar

Pencemaran Udara (ISPU) DKI Jakarta secara keseluruhan.

Data Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan data SPKU dari Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta tahun 2018-2022 dengan temporal harian yang diakses dari <https://data.jakarta.go.id/> dan <https://katalog.data.go.id/>. Data diunduh dalam format csv dan diolah dalam *Microsoft Excel* dengan menyesuaikan format penulisan tanggal *yyyy-mm-dd* sehingga dapat dijalankan di dalam model. Selain itu, yang tidak digunakan seperti SO₂, CO, O₃, nilai *max*, nilai kritis, kategori, dan lokasi SPKU dihilangkan sehingga tersisa tanggal dan nilai indeks PM₁₀.

Teknik Pengolahan Data

Preprocessing Data

Pada tahap ini, data yang telah ada digabung dalam *sheet* yang sama dan disesuaikan format penanggalannya dengan format yang diinginkan model. Setelah itu data yang tidak diperlukan dalam pemodelan dihapus, yaitu nilai *max*, nilai kritis, kategori, dan lokasi SPKU. Data ini kemudian dibaca dalam bentuk *data frame* dengan menggunakan *library python pandas tools*. Untuk menampilkan dataset ini, digunakan perintah *df.head()*. Selanjutnya, dataset akan ditransformasikan dalam bentuk tabel yang memuat data yang akan diprediksi setiap masing-masing kelompok yang terdiri dari komponen *ds* yang mewakili waktu kejadian dan waktu yang diprediksi dan komponen *y* mewakili nilai *time series* parameter kualitas udara (PM₁₀) yang akan diprediksi.

Eksekusi Model

Pada tahap ini, akan dilakukan pengujian nilai *hyperparameter* seperti *horizon value*, *lag number*, *hidden layer*, *seasonality*, *forecast total*, dan sebagainya. Pengujian ini sangat perlu dilakukan karena akan mempengaruhi nilai prediksi yang akan dihasilkan [19]. Nilai *hyperparameter* ini akan terus dimodifikasi untuk mendapatkan nilai prediksi terbaik yang dinilai dari nilai error dan pola grafik yang dihasilkan dari proses evaluasi model. Di bawah ini adalah nilai *hyperparameter* pemodelan Neural Prophet yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Konfigurasi nilai hyperparameter

No	Hyperparameter	Nilai
1	<i>n_changepoints</i>	10
2	<i>n_lags</i>	10
3	<i>n_forecasts</i>	10

4	<i>quantiles</i>	(0.05; 0.95)
5	<i>yearly_seasonality</i>	True
6	<i>weekly_seasonality</i>	True
7	<i>daily_seasonality</i>	True
8	<i>ar_reg</i>	1
9	<i>ar_layer</i>	(32, 32, 32, 32)
10	<i>learning_rate</i>	0.001
11	<i>growth</i>	off
12	<i>epochs</i>	200
13	<i>drop_missing</i>	true

Setelah ini, data akan dibagi menjadi 2 bagian, yang dikenal dengan teknik holdout. Teknik ini bertujuan membagi dataset menjadi 2 sub dataset, yaitu *training set* dan *testing set*. Kedua sub dataset ini akan dibagi sebesar 95% *training set* dan 5% *testing set* [20].

Evaluasi Model

Untuk melihat keakuratan pemodelan *Neural Prophet*, dilakukan analisis nilai eror. Pada penelitian ini, perhitungan RMSE (*Root Mean Squared Error*) dan MAE (*Mean Absolute Error*) digunakan untuk mengevaluasi model. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah pemodelan Neural Prophet telah memenuhi ambang batas kesalahan yang diterima [21].

RMSE merupakan penjumlahan dari kesalahan kuadrat atau selisih nilai aktual dengan nilai *forecast* yang telah ditentukan [22]. Dengan formula:

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

n = jumlah data
y' = nilai data forecast
y = nilai data aktual

MAE merupakan rata-rata selisih mutlak nilai *forecast* dan nilai actual [22]. MAE memberikan nilai pengukuran seberapa besar kesalahan nilai peramalan dalam satuan yang sama dengan variabel yang diukur. Dengan formula:

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

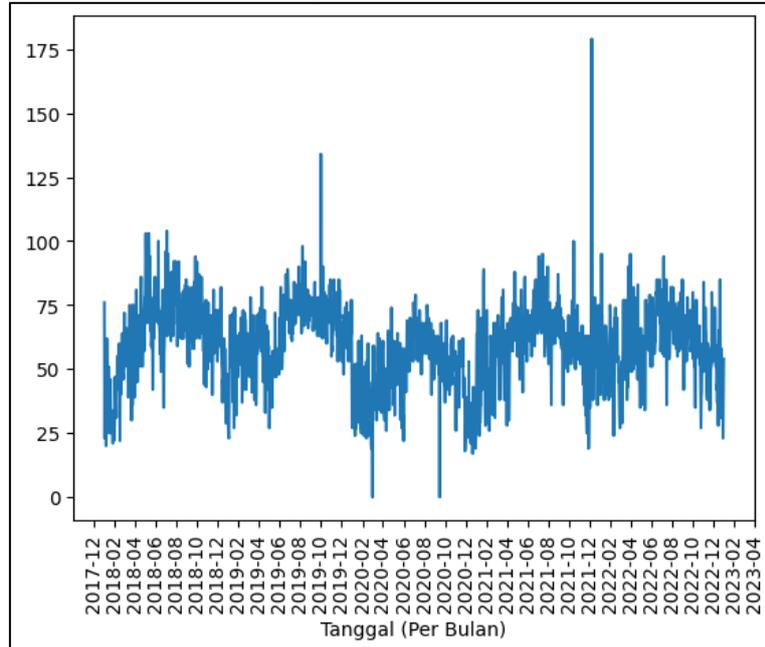
n = jumlah data
x_i = nilai data aktual
x = nilai data forecast

3. Hasil dan Pembahasan

Time Series Indeks PM₁₀ DKI Jakarta Tahun 2018-2022

Data indeks PM10 yang telah digabung dan disesuaikan format penanggalannya di-plot dalam bentuk grafik *time series*. Sebelum di-*run* dalam bentuk grafik, data PM10 diubah menjadi

format *ds* untuk tanggal dan *y* untuk indeks PM10. Selanjutnya baru dibuatkan *time series* dengan fungsi *matplotlib*.



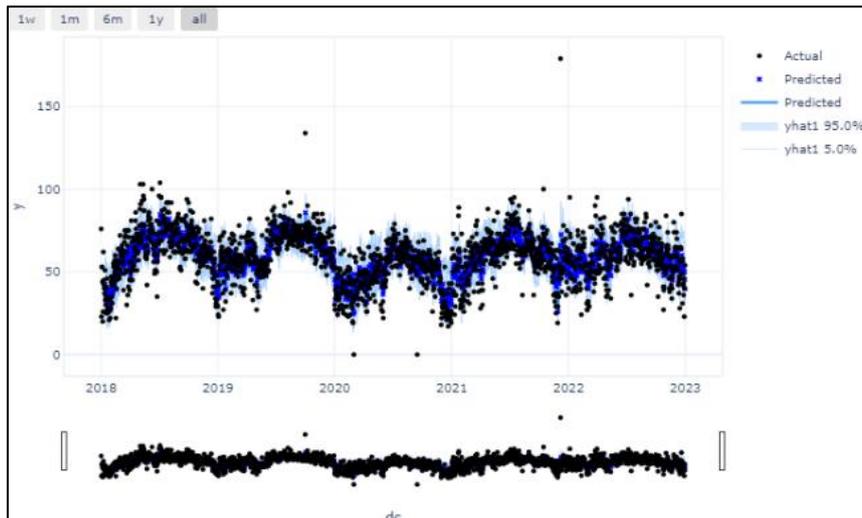
Gambar 1. Time series nilai PM10 DKI Jakarta 2018-2022

sumber: data diolah

Grafik *time series* pada gambar 1 menunjukkan PM10 berfluktuasi dari waktu ke waktu tanpa adanya tren jangka panjang dan nilai yang konsisten mengalami kenaikan dan penurunan selama 2018-2022. Selain itu, ada pola perulangan setiap tahun yang terjadi bulan Juni hingga Oktober setiap tahunnya. Selain itu terdapat anomali peningkatan ekstrem kemudian turun kembali. Di sisi lain, data yang disajikan menunjukkan banyaknya volatilitas yang ditunjukkan oleh penyebaran vertikal titik data. Hal ini mungkin disebabkan oleh variasi cuaca harian dan faktor jangka pendek lainnya seperti suhu, curah hujan, jumlah kendaraan yang menghasilkan emisi, dan sebagainya[23].

Eksekusi Teknik Holdout Pemodelan Neural Prophet

Data yang telah disesuaikan format dan penamaan selanjutnya akan dibagi menjadi data *training* dan data *testing* yang dikenal dengan teknik *holdout*. Pemodelan data training dilakukan dengan proporsi data testing sebesar 0.05 dan data training 0.95. Pemodelan diatur mempelajari data sebanyak 200 *epoch* dengan laju pembelajaran (*learning_rate*) sebesar 0.001.



Gambar 2. Grafik nilai aktual, nilai *forecast*, dan nilai residu
sumber: data diolah

Grafik pada gambar 2 menginterpretasikan nilai aktual dan nilai *forecast* hasil pembelajaran yang dilakukan oleh model. Titik hitam menunjukkan data aktual, titik biru menunjukkan nilai prediksi berdasarkan pola historis data. Area biru muda di sekitar garis prediksi menunjukkan interval prediksi. Ini menunjukkan tingkat keakuratan model terhadap nilai prediksinya. Garis atas menunjukkan akurasi data training (0.95) dan garis bawah mewakili batas bawah dari keakuratan data testing (0.05). Pada gambar 2 diamati model dapat melakukan prediksi dengan cukup baik dalam penyesuaian dengan data aktual, meskipun ada beberapa titik prediksi yang tidak selaras dengan nilai aktualnya. Selain itu, interval kepercayaan yang lebar pada beberapa bagian menunjukkan ketidakpastian.

yang lebih tinggi dalam prediksi model. Pada grafik kedua, residu tidak menunjukkan pola yang sistematis yang dapat dijelaskan bahwa model telah menangkap sebagian besar pola dalam data.

Evaluasi Model

Grafik pada gambar 3, RMSE ditunjukkan oleh garis biru sedangkan MAE ditunjukkan oleh garis merah. Nilai RMSE awalnya tinggi namun menurun dengan cepat dalam beberapa *epochs* pertama. Hal ini mengindikasikan model dapat mempelajari karakteristik data dengan cepat. Nilai MAE juga menunjukkan adanya penurunan serupa namun dengan laju yang sedikit lambat.

Kedua metrik ini menunjukkan penurunan signifikan di awal *training model*. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu belajar

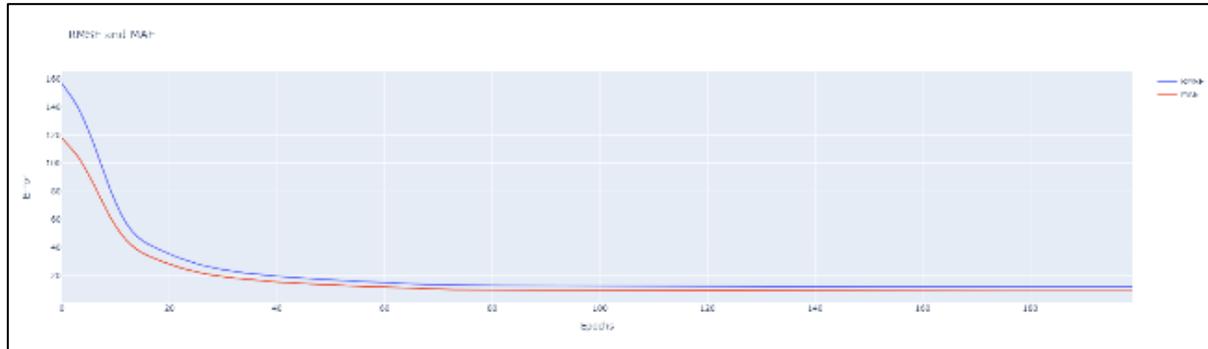
dengan baik dari kesalahannya dan meningkatkan ketepatan nilai prediksi. Setelah penurunan hingga *epochs* 20, kedua metrik mendekati konvergensi dan menunjukkan perubahan yang lebih sedikit terhadap peningkatan *epochs*. Hal ini menunjukkan mode mulai mencapai batas kemampuannya dalam mempelajari data. Pada *epochs* >160, kedua garis mendekati satu sama lain dan relatif datar. Hal ini menunjukkan model telah mencapai kondisi maksimal dalam mempelajari data dan tidak mampu lagi menghasilkan perbaikan yang berarti dalam performa model

Sejumlah penelitian sebelumnya mendukung hasil penelitian ini. Rahman, 2015 menjelaskan bahwa model (*Artificial Neural Network*) ANN mengungguli ARIMA dan FTS dalam memprediksi indeks pencemaran udara [24] Hal ini dikarenakan prediksi yang dihasilkan oleh ANN menghasilkan nilai yang konsisten dan kealahan peramalan terkecil dibandingkan model lainnya. Kunnathettu (2020) melakukan penelitian yang membandingkan efektivitas berbagai teknik pembelajaran mesin dalam memprediksi kualitas udara, dengan fokus pada tingkat PM2.5. Studi ini menemukan bahwa model *Regresi Logistik* dan *Support Vector Machine*, jika disesuaikan dengan hyperparameter, mengungguli teknik lainnya, dengan mencapai akurasi masing-masing sebesar 88,12% dan 87,56%. Hal ini menunjukkan bahwa model ini mungkin berguna dalam prediksi kualitas udara [25]

Penggunaan model *Neural Prophet* dalam prediksi *time series* lebih disukai karena kemampuannya menangani ketergantungan jangka panjang dan mengurangi efek memori jangka pendek, seperti yang ditunjukkan dalam

penelitian oleh Fang [26] dan Junior [27]. Selain itu, kesederhanaan model dan kecepatan penerapannya, serta kemampuannya menangkap tren dan musim, menjadikannya pilihan populer. Performa model ini semakin ditingkatkan bila dikombinasikan dengan teknik

lain, seperti model BiLSTM, seperti yang ditunjukkan dalam studi oleh Wang [28]. Faktor-faktor ini secara kolektif berkontribusi terhadap meluasnya penggunaan model Neural Prophet dalam prediksi deret waktu



Gambar 3. Grafik RMSE dan MAE hasil evaluasi model
Sumber: data diolah

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di atas, model Neural Prophet yang diatur pengulangan pembelajaran data sebesar 200 *epochs* dan laju pembelajaran 0.001 menghasilkan nilai MAE dan RMSE yang relatif kecil dan dapat memanfaatkan model memprediksi parameter PM10 DKI Jakarta di tahun berikutnya. Selain itu, grafik time series Konsentrasi PM10 DKI Jakarta 2018-2022 mengalami fluktuasi setiap tahunnya dengan 1 puncak nilai yang terjadi di bulan Juni Hingga Oktober. Saat mengeksekusi teknik holdout terhadap model, Neural Prophet telah mampu menghasilkan prediksi cukup baik dalam penyesuaian dengan data aktual, walaupun ada beberapa titik prediksi yang tidak selaras dengan nilai aktualnya. Hasil evaluasi model terhadap pemodelan Neural Prophet ini dinilai sudah tepat dalam memprediksi konsentrasi PM10 di DKI Jakarta dengan beberapa penyesuaian yang dilakukan terhadap model.

Hasil penelitian ini bermanfaat untuk memprediksi kualitas udara DKI Jakarta ke depannya dengan metode yang telah diterapkan dalam penelitian ini. Penggunaan model dengan data aktual yang bagus dapat memberikan nilai prediksi yang akurat di masa yang datang.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pembina dan program studi Meteorologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah mendukung pelaksanaan dan

penyelesaian penelitian ini. Selanjutnya kepada Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta yang telah selaku pengamat, pengelola, dan penyedia data informasi ISPU yang dapat digunakan dalam penelitian ini. Kemudian, ucapan terima kasih kepada teman-teman yang telah mendukung dan menyukseskan pelaksanaan penelitian dan penulisan paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] Anggraeni, S. H. D. A., Darundiati, Y. H., & Joko, T. (2021). Analisis Konsentrasi PM10 Hasil Pengukuran Stasiun BMKG Kemayoran di Jakarta Pusat Pada Masa Pandemi COVID-19. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 20(1), 63-69.
- [2] Yoo, E., Pu, Q., Eum, Y., & Jiang, X. (2021). The impact of individual mobility on long-term exposure to ambient PM2.5: Assessing effect modification by travel patterns and spatial variability of PM2.5. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2194.
- [3] Septiyana, D., Sukmono, A., & Yusuf, M. A. (2023). Pemantauan Kualitas Udara ISPU (PM10, SO2, NO2) Menggunakan Citra Landsat 8 dan 9 untuk Kecamatan Mijen Selama Pandemi Covid-19. *Jurnal Geodesi Undip*, 12(3), 271-280.
- [4] Umri, S. S. A. (2021). Analisis Dan Komparasi Algoritma Klasifikasi Dalam Indeks Pencemaran Udara Di DKI Jakarta. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 4(2), 98-104.
- [5] Irwan, Z. D. (2005). Tantangan Lingkungan & Lansekap Hutan Kota.
- [6] Idiawati, N., & Siregar, S. (2021). Impact of COVID-19 Event on Air Pollutants of PM2.5 and PM10 in Jakarta, Indonesia. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(4).
- [7] Haryanto, B. (2018). Climate change and urban air pollution health impacts in Indonesia. In *Climate Change and Air Pollution: The Impact on Human Health in Developed and Developing Countries* (pp. 215-239).
- [8] Reid, C. E., et al. (2016). Differential respiratory health effects from the 2008 northern California wildfires: A spatiotemporal approach. *Environmental Research*, 150, 227-235.

- [9] Najmi, A., & Tonis, M. (2021). Studi Kualitatif PM10 dan PM2.5 dengan Keluhan Subjektif ISPA di SDN 55 Pekanbaru. *Journal of STIKes Awal Bros Pekanbaru*, 2(2), 1-10.
- [10] Susanto, J. P. (2005). Kualitas Udara Beberapa Kota Di Asia (Monitoring Kandungan SO₂ Udara Ambien dengan Passive Sampler). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 6(1).
- [11] Jange, B. (2021). Prediksi Harga Saham Bank BCA Menggunakan Prophet. *Journal of Trends Economics and Accounting Research*, 2(1), 1-5.
- [12] Ye, Z. (2019). Air pollutants prediction in Shenzhen based on ARIMA and Prophet method. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 136, p. 05001). EDP Sciences.
- [13] Shen, J., Valagolam, D., & McCalla, S. (2020). Prophet forecasting model: A machine learning approach to predict the concentration of air pollutants (PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂, CO) in Seoul, South Korea. *PeerJ*, 8, e9961.
- [14] Samal, K. K. R., Babu, K. S., Das, S. K., & Acharaya, A. (2019). Time series based air pollution forecasting using SARIMA and Prophet model. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Information Technology and Computer Communications* (pp. 80-85).
- [15] Cai, F. (2023). The Prediction of the Air Quality based on the Prophet Algorithm. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 39, 1056-1060.
- [16] Singh, A. (2019). Air Pollution Forecasting and Performance Evaluation Using Advanced Time Series and Deep Learning Approach for Gurgaon (Ph.D. dissertation). National College of Ireland, Dublin.
- [17] Mao, W., Wang, W., Jiao, L., Zhao, S., & Liu, A. (2021). Modeling air quality prediction using a deep learning approach: Method optimization and evaluation. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102567.
- [18] Raipure, S. (2018). Monitoring and Prediction of Air Quality using Neural Network. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*.
- [19] Sihombing, C., Saputra, A. H., Sari, F. P., & Mulya, A. (2022). Prediksi Curah Hujan di Wilayah DKI Jakarta dengan Model NeuralProphet. *Jurnal Aplikasi Meteorologi*, 1(2).
- [20] Rahayu, D. S., Nursafika, N., Afifah, J., & Intan, S. (2023). Klasifikasi Penyakit Diabetes Melitus Menggunakan Algoritma C4.5, Support Vector Machine (SVM) dan Regresi Linear: Classification Diabetes Mellitus Using C4.5 Algorithm, Support Vector Machine (SVM) and Linear Regression. In *SENTIMAS: Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat* (pp. 56-63).
- [21] Togatorop, J. P. E., Firdaush, R. B., & Haryanto, Y. D. (2021). Prediksi Indeks Nitrogen Dioksida (NO₂) Menggunakan Model NeuralProphet Studi Kasus DKI Jakarta. *Indonesian Physics Communication*, 20(3), 215-222.
- [22] Ardiansyah, D. (2023). Perbandingan Model Prediksi Radiasi Matahari Berbasis Mesin Pembelajaran Pada Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno Bengkulu. *Megasains*, 14(1).
- [23] Nofendri, Y. (2018). Pengaruh Penambahan Oksigenat Pada Solar Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 3(1), 30-39.
- [24] Rahman, N. H. A., Lee, M. H., Suhartono, & Latif, M. T. (2015). Artificial neural networks and fuzzy time series forecasting: An application to air quality. *Quality & Quantity*, 49, 2633-2647.
- [25] Kunnathettu, A. J., & Varma, S. L. (2020). Comparative Analysis of Neural Network and Machine Learning Techniques for Air Quality Prediction. In *2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)* (pp. 724-729). IEEE.
- [26] Fang, W.-X., Lan, P.-C., Lin, W.-R., Chang, H.-C., Chang, H.-Y., & Wang, Y.-H. (2019). Combine Facebook Prophet and LSTM with BPNN forecasting financial markets: The Morgan Taiwan index. In *2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)* (pp. 1-2). IEEE.
- [27] Junior, C., Gusmão, P., Moreira, J., & Tome, A. M. M. (2021). Time Series Forecasting in Retail Sales Using LSTM and Prophet. In *Handbook of Research on Applied Data Science and Artificial Intelligence in Business and Industry* (pp. 241-262). IGI Global.
- [28] Wang, Z., & Gu, X. (2023). A Time Series Prediction Algorithm Based on BiLSTM and Prophet Hybrid Model. In *2023 4th International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)* (pp. 128-132). IEEE.