



## Vol. 12, No.2 – Agustus 2021

Diterbitkan Oleh

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

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

### SUSUNAN REDAKSI

#### PENANGGUNG JAWAB

Sugeng Nugroho, M.Si

#### MITRABESTARI

Dr. Hamdi Rivai

Dr. Erwin Eka Saputara M, M.Si

Dr. Fajar Gumbira

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

Alberth Christian Nahas, MCC, P.hD

Dr. Ida Pramuwardani

#### REDAKTUR

Darmadi

Reza Mahdi, ST

#### EDITOR

Ikhsan Buyung Arifin, S.Tr

Rinaldi, A.Md

Tanti Tritama Okaem, S.Si

#### DESAINS GRAFIS DAN FOTOGRAFER

Andi Sulistiyono, S.Si

Dodi Saputra, S.Si

Soni Miftah Pratama, S.Tr

#### SEKRETARIAT REDAKSI

Dhiyaul Qalbi Syofyan, S.Tr

Diko Revano Umbara, SE

Dwiky Pujo Pratama, S.Tr

Fajri Zulgino, S.T

Rendi Septa Davi, S.Tr

Quartha Rivaldo, S.Tr

Ibrahim

### MEGASAINS

MEGASAINS merupakan buletin yang diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang sebagai media penerangan 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 laik 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 12 No. 2 tahun 2021 ini dapat terbit sebagaimana yang diharapkan.

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

Mulai Volume 10 No 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 Mitra Bestari dan Tim Redaksi yang telah bekerja keras demi terbitnya Volume 12 No. 2 tahun 2021 ini.

Sekian, wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bukit Kototabang, Agustus 2021

## Daftar KTI

	Halaman
<b>ANALISIS HUBUNGAN EL NIÑO DENGAN KEKERINGAN METEOROLOGIS DAN DAMPAKNYA TERHADAP PRODUKSI PADI DI PROVINSI BALI</b> <i>Wahyu Widodo Putranto, Baiq Helmi Susrinda Ningsih, Rakhmat Prasetia</i>	1-10
<b>VERIFIKASI PARAMETER PRESIPITASI AKUMULASI 24 JAM PADA MODEL CUACA NUMERIK TAHUN 2017-2020</b> <i>Kiki, Fakhrol Alam</i>	11-16
<b>ESTIMASI DEBIT ALIRAN MENGGUNAKAN DATA RADAR CUACA (STUDI KASUS : DAS MANNA, BENGKULU)</b> <i>Muhammad Fajar Handoyo, M Pramono Hadi, Slamet Suprayogi</i>	17-26
<b>ANALISIS KARAKTERISTIK FISIK DAN METEOROLOGI DAS BENGKULU</b> <i>Gita Ivana Suci Lestari Faski, Ignasius Loyola Setyawan Purnama, Slamet Suprayogi</i>	27-34
<b>PEMODELAN PERUBAHAN BANJIR DI PAMENANG BARAT MENGGUNAKAN HECRAS</b> <i>Bastian Andarino, Emilya Nurjani, M. Pramono Hadi</i>	35-41
<b>PENGARUH SERUAKAN DINGIN ASIA TERHADAP TINGGI GELOMBANG MAKSIMUM DI SELAT KARIMATA DAN LAUT JAWA</b> <i>Budi Setiawan</i>	42-47

## **ANALISIS HUBUNGAN EL NIÑO DENGAN KEKERINGAN METEOROLOGIS DAN DAMPAKNYA TERHADAP PRODUKSI PADI DI PROVINSI BALI**

### **ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP EL NIÑO WITH METEOROLOGICAL DROUGHT AND ITS IMPACT ON PADDY PRODUCTION IN BALI PROVINCE**

**Wahyu Widodo Putranto<sup>1,3</sup>, Baiq Helmi Susrinda Ningsih<sup>2</sup>, Rakhmat Prasetya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Jembrana Bali

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana

<sup>3</sup>Program Pascasarjana Magister Pertanian Lahan Kering, Universitas Udayana

\*E-mail: wwputranto0612@gmail.com

Naskah masuk: 09 Februari  
2021

Naskah diperbaiki: 06 Juni  
2021

Naskah diterima: 29 Juli 2021

#### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara terjadinya fenomena El Niño dengan kekeringan meteorologis serta dampaknya terhadap produksi padi di Provinsi Bali. Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan 45 pos hujan di Provinsi Bali selama periode 1987-2017 dan data anomali Suhu Permukaan Laut (SPL) tahun 2000-2017. Untuk mengetahui tingkat kekeringan wilayah digunakan metode Standardized Precipitation Index (SPI) yang dihitung dari data pos hujan kemudian dilakukan analisis menggunakan metode koefisien korelasi. Hasilnya bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara kekeringan meteorologis di Provinsi Bali dengan terjadinya fenomena El Niño. Produktivitas padi pada tahun terjadinya El Niño menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan saat tahun El Niño sedang dan El Niño lemah, dimana saat El Niño sedang menunjukkan kecenderungan penurunan yang lebih signifikan.

**Kata kunci:** El Niño, SPI, SPL.

#### **ABSTRACT**

*This research was intended to analyze the relation between the phenomenon of El Niño occurrence and meteorological drought in Bali Province and its effect to the rice production in Bali Province. This research used monthly rainfall of 45 rainfall posts during 1987-2017 period and anomaly data of sea surface temperature (SPL) during 2000-2017 period. In order to know the area drought rate, Standardized Precipitation Index (SPI) was used which was calculated from rainfall post data and the analysis using correlation coefficient method was used. The result was that there was a great strong relation between meteorological drought in Bali Province and the phenomenon of El Niño occurrence. Productivity of rice in the year of El Niño occurrence showed the trend of sustaining the declining in the year of moderate and weak El Niño however the moderate El Niño showed more significant declining trend.*

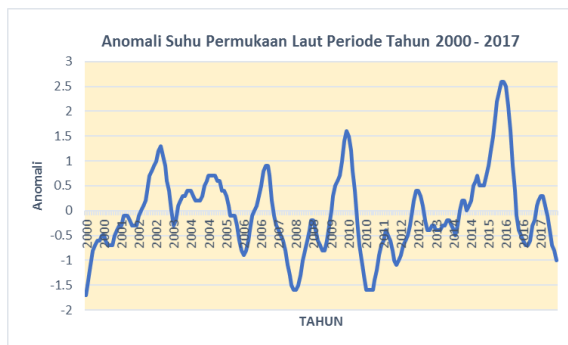
**Keywords:** El Niño, SPI, SPL.



Nilai SPI selain dihubungkan dengan tahun terjadinya El Niño, juga dihubungkan dengan produktivitas padi yang dilihat dari nilai produksi padi dengan satuan ton di Provinsi Bali. Naik-turunnya produktivitas padi dihubungkan dengan nilai SPI di periode tahun yang sama dengan periode tahun data produksi padi yang dikaji. Nilai SPI merupakan refleksi dari nilai curah hujan yang menjadi salah satu faktor penting dalam pertumbuhan padi. Untuk mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan oleh fenomena El Niño dan kekeringan meteorologis terhadap produktivitas padi, digunakan analisis deskriptif yang menunjukkan dampak yang mungkin terjadi terhadap produktivitas padi di Provinsi Bali.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pola anomali suhu muka laut wilayah Samudera Pasifik (wilayah Nino 3.4) memiliki variasi anomali yang cukup variatif selama periode tahun 2000 – 2017 terlihat pada Gambar 2.



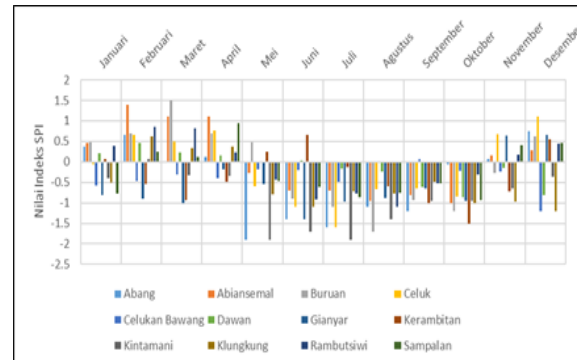
**Gambar 2.** Grafik Anomali Suhu Muka Laut Periode 2000-2017.

(sumber: data diolah).

Dari Gambar 2 tersebut dan sesuai dengan ketentuan kategori penentuan El Niño wilayah Samudera Pasifik maka diperoleh tahun-tahun dengan kategori El Niño adalah tahun 2002, 2004, 2006, 2009 dan 2015 dimana pada tahun tersebut kategori El Niño berada pada intensitas lemah hingga kuat. Fenomena El Niño ditandai dengan anomali Suhu Permukaan Laut bernilai positif lebih dari  $0,5^{\circ}\text{C}$  (yang apabila nilai anomali Suhu Permukaan Laut lebih besar dari  $+1,5^{\circ}\text{C}$  berarti El Niño kuat) [4].

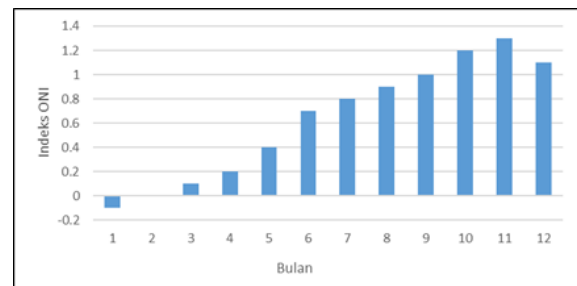
**Pengolahan Data Tahun 2002.** Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai indeks SPI tahun 2002 dari bulan Mei - Oktober hampir di seluruh daerah nilai indeks SPI dominan negatif. Nilai negatif menandakan indikasi awal terjadinya kekeringan, namun ada juga beberapa daerah yang nilai indeks SPI bernilai positif yaitu pada bulan November dan Desember. Sedangkan pada bulan Januari-April hanya beberapa daerah yang memiliki nilai indeks SPI yang

negatif. Nilai indeks SPI dengan kriteria sangat kering terjadi pada bulan Mei di daerah Abang dengan nilai indeks kekeringan sebesar  $-1,9$  dan pada bulan Mei dan Juli di daerah Kintamani dengan nilai indeks kekeringan sebesar  $-1,9$ .



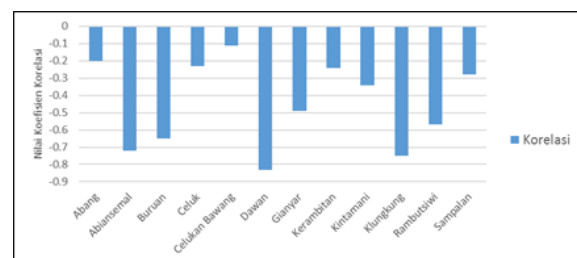
**Gambar 3.** Grafik nilai indeks SPI tahun 2002. (sumber: data diolah).

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa terjadi El Niño sedang yang mulai terasa dari bulan September hingga Desember. El Niño dikatakan sedang apabila penyimpangan suhu permukaan laut atau nilai indeks ONI berkisar antara  $1,0^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $1,5^{\circ}\text{C}$  minimal selama 3 bulan berturut-turut.



**Gambar 4.** Grafik ONI tahun 2002.

(sumber: data diolah).



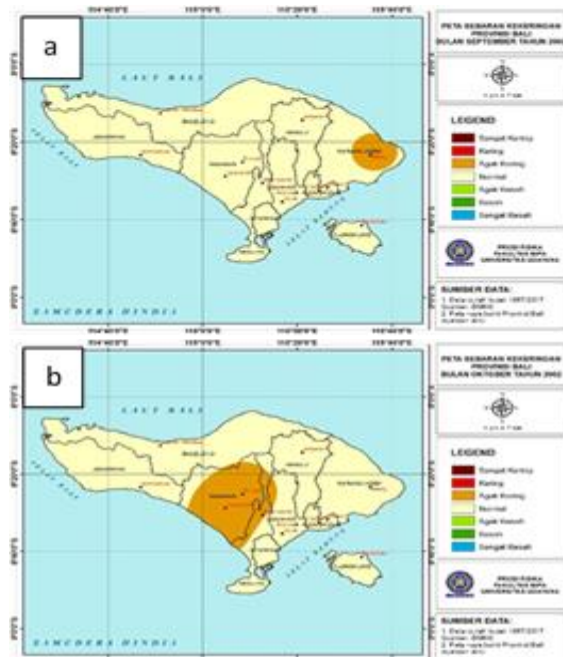
**Gambar 5.** Grafik korelasi nilai indeks SPI dengan nilai anomali SPL.

(sumber: data diolah).

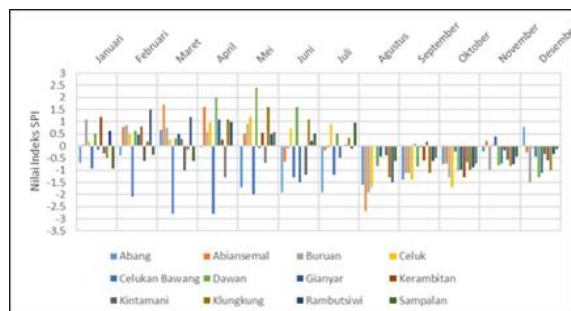
Berdasarkan Gambar 5 bahwa terdapat adanya korelasi berkebalikan, artinya disaat nilai SPI bernilai negatif maka akan didapatkan nilai anomali suhu permukaan laut yang bernilai positif. Pada grafik terlihat bahwa hanya beberapa daerah memiliki hubungan yang kuat seperti daerah Abiansemal dengan nilai koefisien korelasi sebesar  $-0,72$ , daerah Dawan

dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,83 dan daerah Klungkung dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,75, namun ada juga daerah yang dianggap tidak memiliki hubungan seperti daerah Abang dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,2 dan daerah Celukan Bawang dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,11..

Dapat dilihat pada Gambar 6 pada saat kejadian El Niño sedang tahun 2002 pada bulan September - Oktober, Provinsi Bali mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan normal sampai dengan agak kering, artinya kejadian El Niño mempengaruhi kekeringan di Kabupaten Karangasem pada bulan September dan Kabupaten Tabanan juga Badung pada bulan Oktober.



**Gambar 6.** Peta sebaran kekeringan tahun 2002 periode El Niño sedang pada (a) September dan (b) Oktober. (sumber: data diolah).

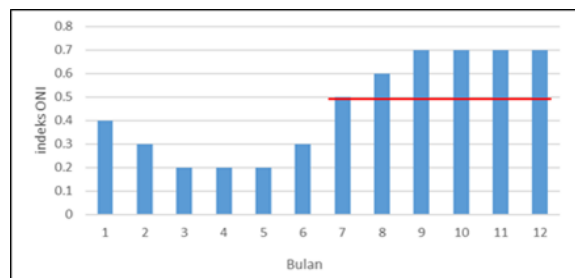


**Gambar 7.** Grafik nilai indeks SPI tahun 2004. (sumber: data diolah).

**Pengolahan Data Tahun 2004.** Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai indeks SPI tahun 2004 dari bulan Agustus-Desember hampir diseluruh

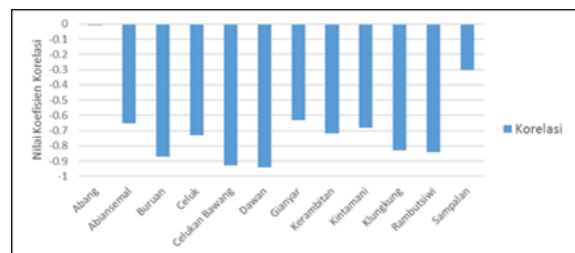
daerah, nilai indeks SPI bernilai negatif, sedangkan pada bulan Januari-Juli hanya terdapat beberapa daerah yang memiliki nilai indeks SPI yang bernilai negatif. Nilai indeks SPI dengan kriteria sangat kering terjadi pada bulan Agustus di daerah Abiansemal dengan nilai indeks kekeringan sebesar -2,7.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa terjadi El Niño lemah yang mulai terasa dari bulan Juli hingga Desember. El Niño dikatakan lemah apabila penyimpangan suhu permukaan laut atau nilai indeks ONI berkisar antara 0,5°C sampai dengan 1,0°C minimal selama 3 bulan berturut-turut.



**Gambar 8.** Grafik ONI tahun 2004. (sumber: data diolah).

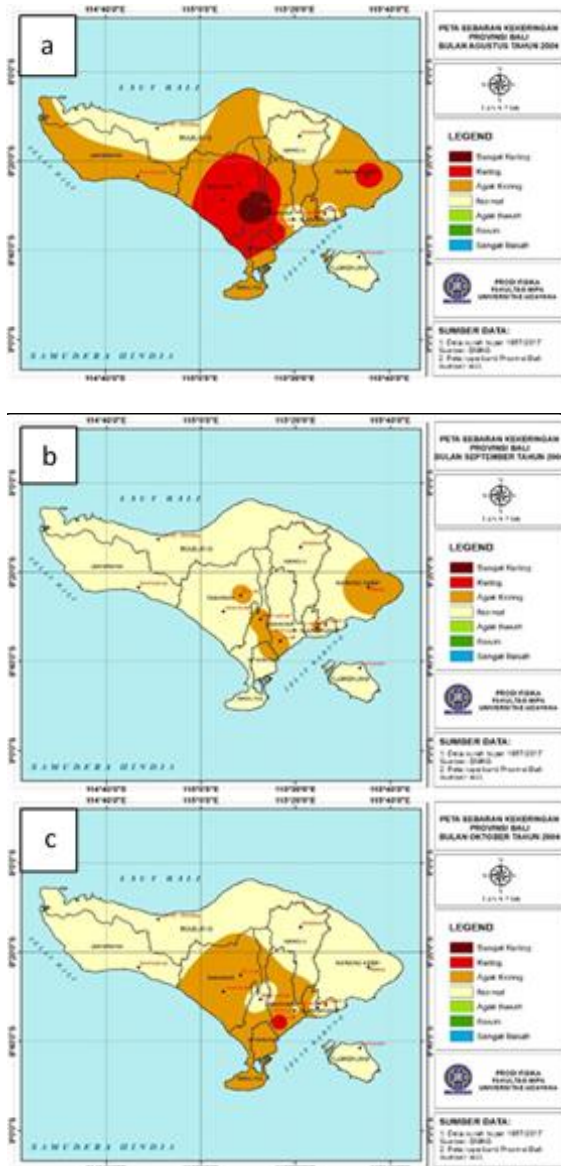
Pada Gambar 9 terlihat bahwa adanya korelasi berkebalikan, artinya disaat nilai SPI bernilai negatif maka akan didapatkan nilai anomali suhu permukaan laut yang bernilai positif. Pada grafik terlihat bahwa ada beberapa daerah memiliki hubungan yang sangat kuat seperti daerah Celukan Bawang dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,93 dan daerah Dawan dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,94, namun ada juga daerah yang dianggap tidak memiliki hubungan seperti daerah Abang dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0.



**Gambar 9.** Grafik korelasi nilai indeks SPI dengan nilai anomali SPL. (sumber: data diolah).

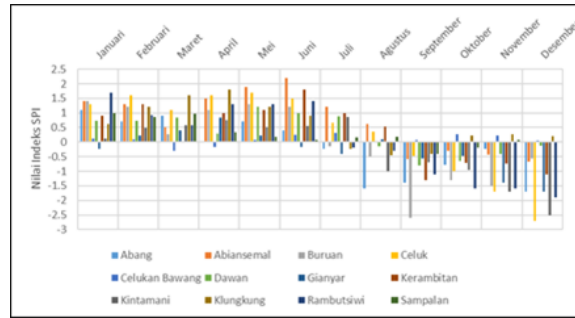
Dapat dilihat pada Gambar 10 pada saat kejadian El Niño lemah tahun 2004, Provinsi Bali mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan normal sampai dengan sangat kering, artinya kejadian El Niño mempengaruhi kekeringan di beberapa wilayah di Provinsi Bali seperti Kabupaten Badung, Tabanan, Karangasem dan Gianyar. Pada bulan Agustus

terjadi kekeringan dengan kategori sangat kering yang terjadi di daerah Kabupaten Badung, artinya kejadian El Niño yang terjadi pada tahun 2004 sangat mempengaruhi kekeringan meteorologis di daerah Badung.



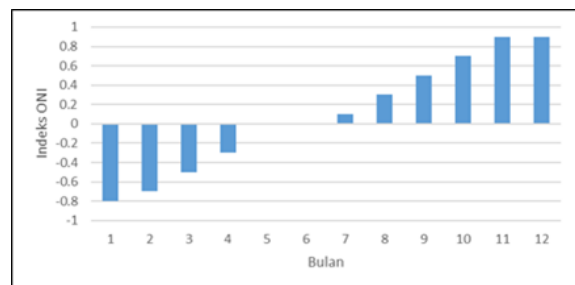
**Gambar 10.** Peta sebaran kekeringan tahun 2004 periode El Niño lemah. (a) Agustus, (b) September, (c) Oktober. (sumber: data diolah).

**Pengolahan Data Tahun 2006.** 2006. Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa nilai indeks SPI tahun 2006 dari bulan Agustus-Desember hampir diseluruh daerah nilai indeks SPI bernilai negatif, sedangkan pada bulan Januari-Juli hampir diseluruh daerah nilai indeks SPI bernilai positif dan hanya beberapa daerah yang nilai indeks SPI bernilai negatif. Nilai indeks SPI dengan kriteria sangat kering terjadi pada bulan Desember di daerah Celuk dengan nilai indeks kekeringan sebesar -2,7.

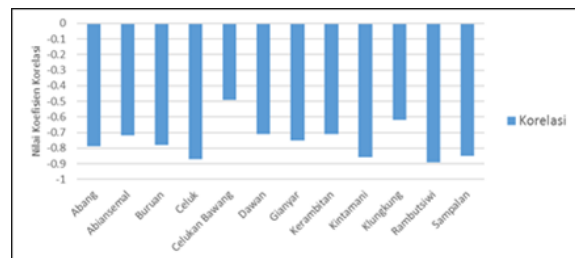


**Gambar 11.** Grafik nilai indeks SPI tahun 2006. (sumber: data diolah).

Pada Gambar 12 terlihat bahwa terjadi El Niño lemah yang mulai terasa dari bulan September hingga Desember. El Niño dikatakan lemah apabila penyimpangan SPL atau nilai indeks ONI berkisar antara 0,5°C sampai dengan 1,0°C minimal selama 3 bulan berturut-turut.



**Gambar 12.** Grafik ONI tahun 2006. (sumber: data diolah).

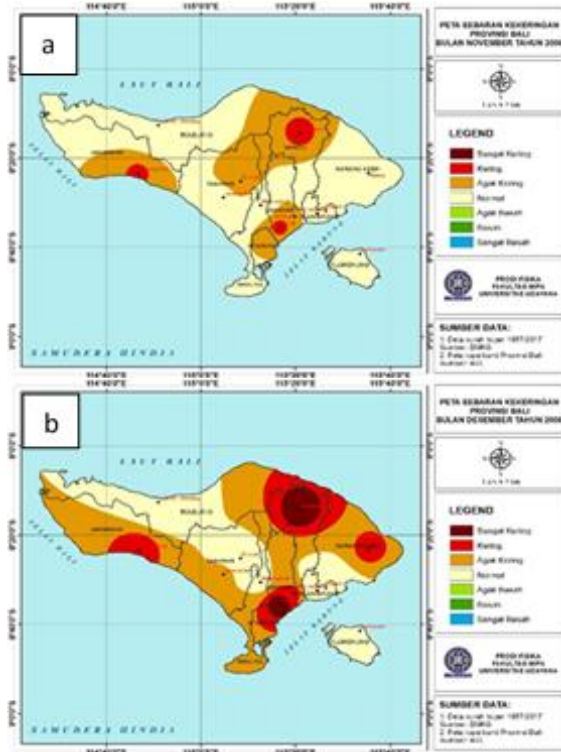


**Gambar 13.** Grafik korelasi nilai indeks SPI dengan nilai anomali SPL. (sumber: data diolah).

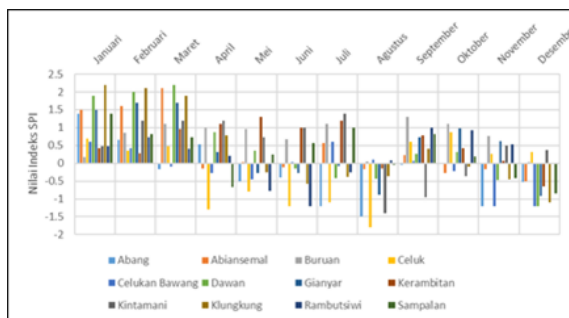
Pada Gambar 13 terlihat bahwa adanya korelasi berkebalikan, artinya disaat nilai SPI bernilai negatif maka akan didapatkan nilai anomali SPL positif. Pada grafik terlihat bahwa ada beberapa daerah memiliki hubungan yang kuat seperti daerah Celuk dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,87, daerah Kintamani dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,86 dan daerah Rambutsiwi dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,89.

Dapat dilihat pada Gambar 14 pada saat kejadian El Niño lemah tahun 2006, Provinsi Bali mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan normal sampai dengan sangat kering, artinya kejadian El Niño mempengaruhi

kekeringan di Kabupaten Jembrana, Bangli, Buleleng, Karangasem dan Gianyar. Pada bulan Desember terjadi kekeringan dengan kategori sangat kering yang terjadi di sebagian wilayah yang ada di Provinsi Bali, seperti daerah Gianyar dan Bangli.



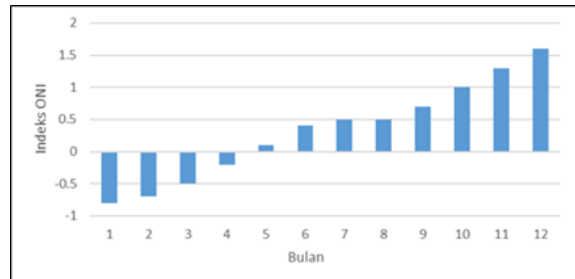
**Gambar 14.** Peta sebaran kekeringan tahun 2006 periode El Niño lemah pada (a) November dan (b) Desember. (sumber: data diolah).



**Gambar 15.** Grafik nilai indeks SPI tahun 2009. (sumber: data diolah)

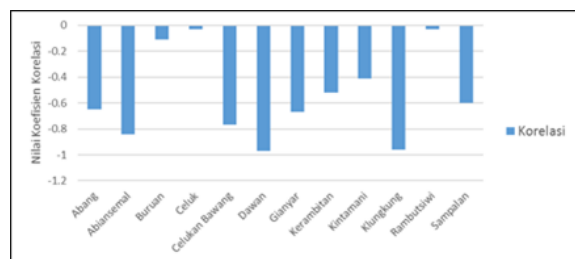
**Pengolahan Data Tahun 2009.** Pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa nilai indeks SPI tahun 2009 dari bulan April-Desember hanya beberapa daerah dengan indeks SPI bernilai negatif dan sebagian daerah indeks SPI bernilai positif. Nilai indeks SPI dengan kriteria kering terjadi pada bulan Agustus di daerah Celuk dengan nilai indeks kekeringan sebesar -1,8, sedangkan dari bulan Januari-Maret hampir diseluruh daerah indeks SPI bernilai positif.

Pada Gambar 16 terlihat bahwa terjadi El Niño kuat yang mulai terasa dari bulan Oktober hingga Desember. El Niño dikatakan kuat apabila penyimpangan suhu permukaan laut atau nilai indeks ONI berkisar antara 1,0°C sampai dengan 1,5°C atau lebih dari 1,5°C minimal selama 3 bulan berturut-turut.



**Gambar 16.** Grafik ONI tahun 2009. (sumber: data diolah)

Pada Gambar 17 terlihat bahwa adanya korelasi berkebalikan, artinya disaat nilai SPI bernilai negatif maka akan didapatkan nilai anomali SPL yang bernilai positif. Pada grafik terlihat bahwa ada beberapa daerah memiliki hubungan yang sangat kuat seperti daerah Dawan dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,97 dan daerah Klungkung dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,96, namun ada juga beberapa daerah yang dianggap tidak memiliki hubungan, yaitu daerah Buruan, Celuk dan Rambutsivi.

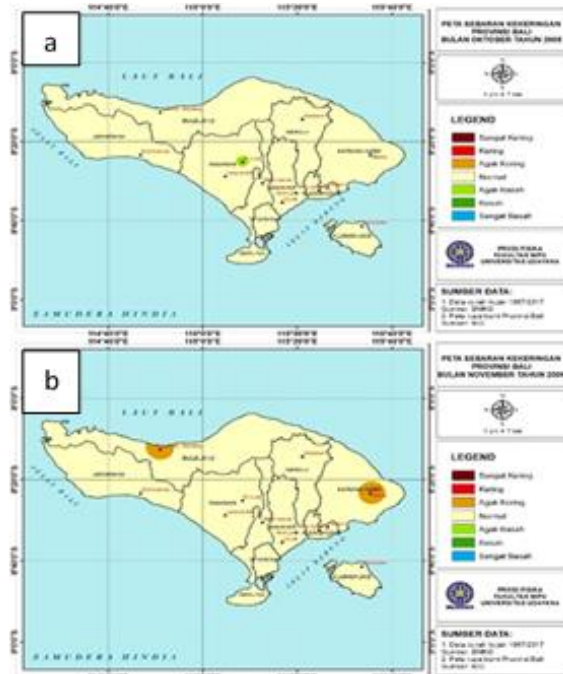


**Gambar 17.** Grafik korelasi nilai indeks SPI dengan nilai SPL. (sumber : data diolah)

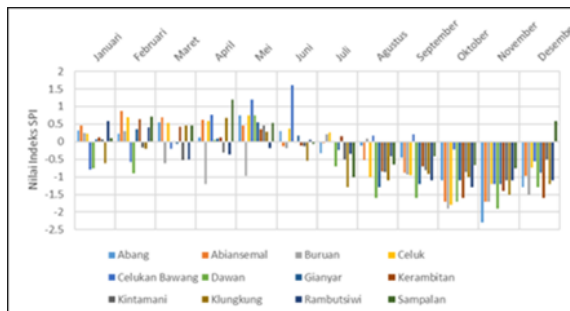
Dapat dilihat pada Gambar 18 pada saat kejadian El Niño kuat tahun 2009, Provinsi Bali mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan normal sampai dengan agak kering. Kekeringan dengan tingkat kekeringan agak kering terjadi di beberapa wilayah di Provinsi Bali, yaitu daerah Buleleng dan Karangasem. Pada bulan Oktober kejadian El Niño tidak mempengaruhi daerah Tabanan, terlihat dari warna pada peta yang berwarna hijau menandakan daerah tersebut agak basah.

**Pengolahan Data Tahun 2015.** Pada Gambar 19 dapat dilihat bahwa nilai indeks SPI tahun 2015 dari bulan Juli-Desember hampir diseluruh daerah indeks SPI bernilai negatif. Nilai indeks

SPI dengan kriteria sangat kering terjadi pada bulan November di daerah Abang dengan nilai indeks kekeringan sebesar -2,3, sedangkan dari bulan Januari-Juni hanya beberapa wilayah indeks SPI bernilai negatif, seperti daerah Buruan, Celukan Bawang, Rambutsiwi, Dawan dan Klungkung.



**Gambar 18.** Peta sebaran kekeringan tahun 2009 periode El Niño kuat. (a) Oktober, (b) November. (sumber: data diolah)

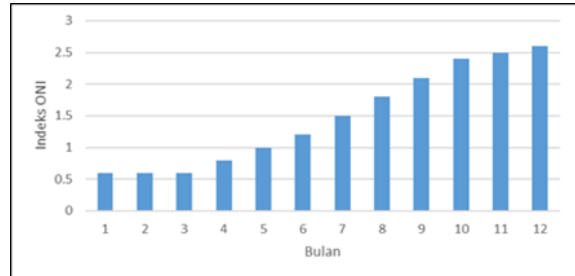


**Gambar 19.** Grafik nilai indeks SPI tahun 2015. (sumber: data diolah)

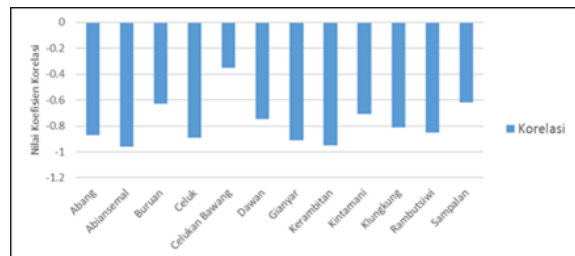
Pada Gambar 20 terlihat bahwa terjadi El Niño kuat yang mulai terasa dari bulan Juli hingga Desember. El Niño dikatakan kuat apabila penyimpangan suhu permukaan laut atau nilai indeks ONI berkisar antara 1,0°C sampai dengan 1,5°C atau lebih dari 1,5°C minimal selama 3 bulan berturut-turut.

Pada Gambar 21 terlihat bahwa adanya korelasi berkebalikan, artinya disaat nilai SPI bernilai negatif maka akan didapatkan nilai anomali SPL yang bernilai positif. Pada grafik terlihat bahwa

ada beberapa daerah memiliki hubungan yang sangat kuat seperti daerah Abiansemal dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,96, Gianyar dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,91 dan daerah Kerambitan dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,95.



**Gambar 20.** Grafik ONI tahun 2015. (sumber: data diolah)

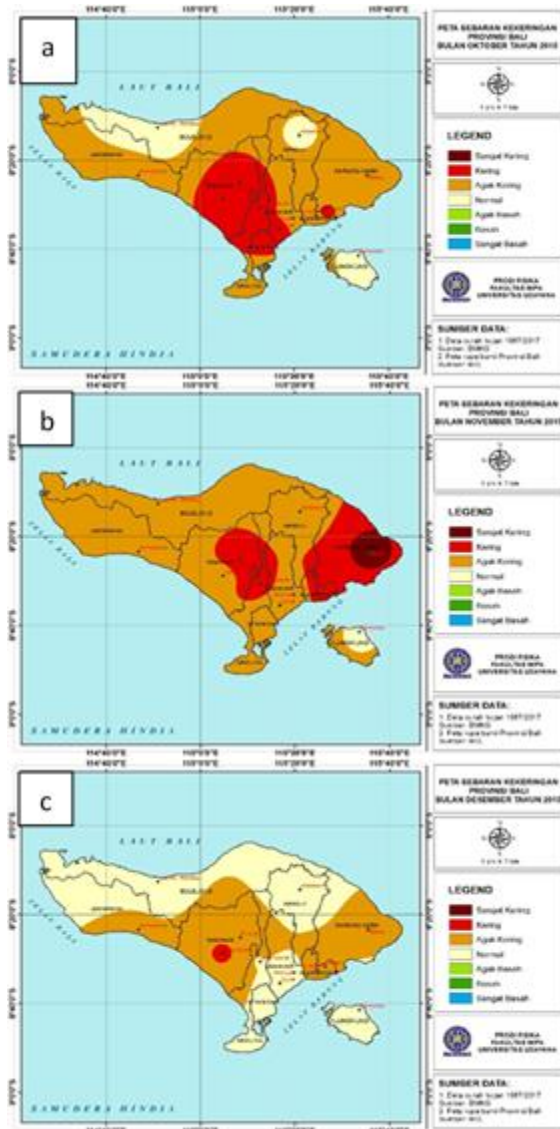


**Gambar 21.** Grafik korelasi nilai indeks SPI dengan nilai SPL. (sumber: data diolah)

Dapat dilihat pada Gambar 22 pada saat kejadian El Niño kuat tahun 2015, Provinsi Bali mengalami kekeringan dengan tingkat kekeringan normal sampai dengan sangat kering. Pada bulan November kekeringan terjadi di seluruh Provinsi Bali dengan tingkat kekeringan dari agak kering sampai dengan sangat kering. Kabupaten Tabanan dan Badung mengalami tingkat kekeringan sangat kering, oleh karena itu El Niño tahun 2015 sangat berpengaruh terhadap kekeringan meteorologis di Provinsi Bali.

**Analisis Hubungan Nilai Indeks SPI dengan Nilai Anomali SPL Terhadap Produktivitas Padi.** Pada Gambar 23 terlihat grafik Produktivitas Padi di Provinsi Bali saat terjadi El Niño pada tahun 2002, secara umum produktivitas padi di Provinsi Bali mengalami penurunan. Penurunan produktivitas padi terbesar terdapat di Kabupaten Bangli sebesar 0,59 ton/ha, namun di Kabupaten Gianyar produktivitas padi meningkat sedikit dari rata – ratanya sebesar 0,3 ton/ha.

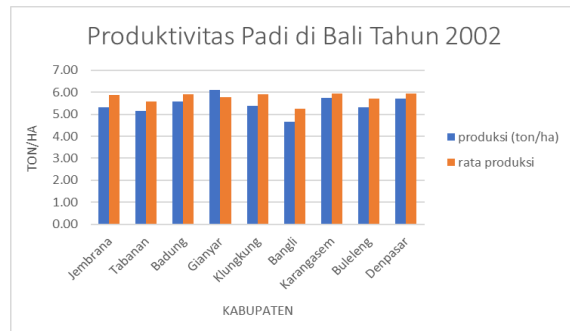
**Gambar 22.** Peta sebaran kekeringan tahun 2015 periode El Niño kuat. (a) Oktober, (b) November, (c) Desember.



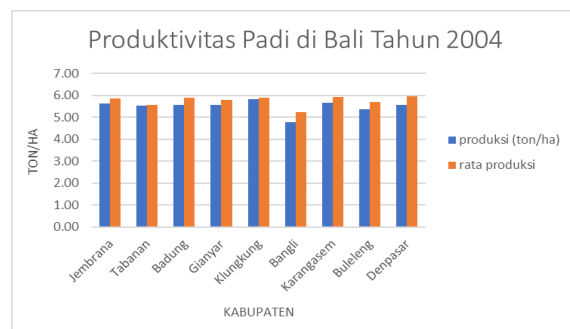
(sumber: data diolah)

Gambar 24 menunjukkan grafik Produktivitas Padi di Provinsi Bali pada saat terjadi El Niño tahun 2004, seluruh Kabupaten yang ada di Provinsi Bali mengalami produktivitas padi yang menurun dari rata-rata. Penurunan produktivitas padi terbesar terdapat di Kabupaten Bangli sebesar 0,48 ton/ha, artinya kejadian El Niño mempengaruhi produktivitas padi di seluruh Kabupaten/Kota yang ada di Provinsi Bali.

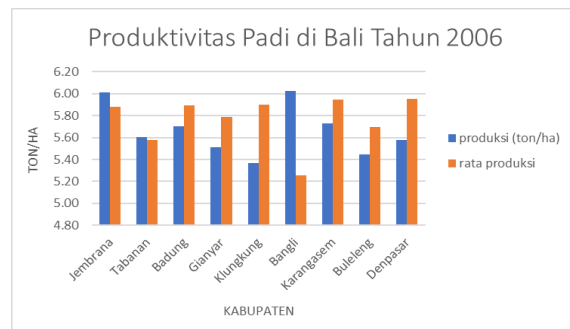
Gambar 25 menunjukkan grafik Produktivitas Padi di Provinsi Bali pada saat terjadi El Niño tahun 2006, secara umum produktivitas padi mengalami penurunan. Penurunan produktivitas padi terbesar terdapat di Kabupaten Klungkung sebesar 0,53 ton/ha, namun pada tahun ini terdapat 3 Kabupaten yang menunjukkan peningkatan produktivitas, yaitu Kabupaten Bangli sebesar 0,77 ton/ha, Kabupaten Tabanan sebesar 0,02 ton/ha dan di Kabupaten Jembrana sebesar 0,13 ton/ha.



**Gambar 23.** Grafik perbandingan produktivitas produksi padi terhadap rata-rata produksi tahun 2002. (sumber: data diolah)

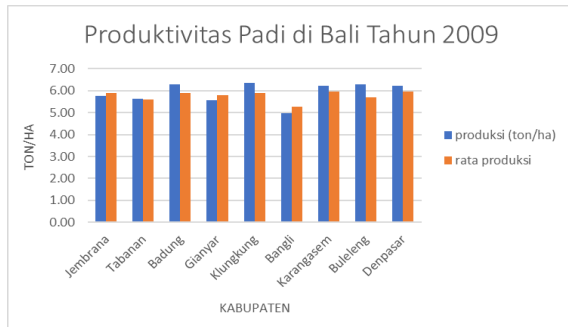


**Gambar 24.** Grafik perbandingan produktivitas produksi padi terhadap rata-rata produksi tahun 2004. (sumber: data diolah)



**Gambar 25.** Grafik perbandingan produktivitas produksi padi terhadap rata-rata produksi tahun 2006. (sumber: data diolah)

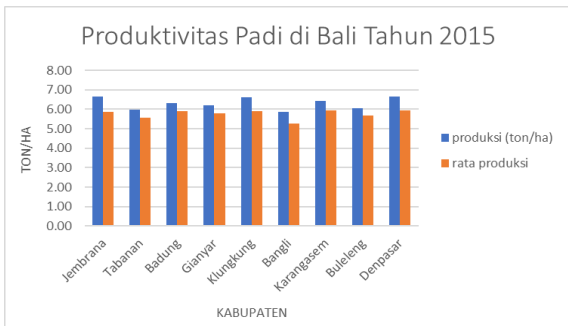
Gambar 26 menunjukkan grafik produktivitas Padi di Provinsi Bali pada saat terjadi El Niño tahun 2009, secara umum produktivitas padi mengalami peningkatan. Peningkatan produktivitas padi terbesar terdapat di Kabupaten Buleleng sebesar 0,6 ton/ha, namun pada tahun ini juga terdapat penurunan produktivitas di Kabupaten lainnya, seperti Kabupaten Bangli sebesar 0,3 ton/ha, Kabupaten Gianyar sebesar 0,22 ton/ha dan di Kabupaten Jembrana sebesar 0,13 ton/ha.



**Gambar 26.** Grafik Perbandingan Produktivitas Produksi Padi Terhadap Rata – Rata Produksi Tahun 2009.

(sumber: data diolah)

Gambar 27 menunjukkan grafik Produktivitas Padi di Provinsi Bali pada saat terjadi El Niño tahun 2015, tahun ini merupakan kejadian El Niño dengan intensitas kuat tetapi grafik menunjukkan produktivitas padi tidak mengalami penurunan atau berada di atas rata-rata produksi padi di seluruh Kabupaten/Kota yang ada di Provinsi Bali, artinya kejadian El Niño pada tahun 2015 tidak mempengaruhi penurunan produktivitas padi. Peningkatan produktivitas padi secara signifikan terbesar terjadi di Kabupaten Jembrana sebesar 0,79 ton/ha, Kabupaten Klungkung sebesar 0,71 ton/ha dan Kota Denpasar sebesar 0,7 ton/ha.



**Gambar 27.** Grafik Perbandingan Produktivitas Produksi Padi Terhadap Rata – Rata Produksi Tahun 2015.

(sumber: data diolah)

Dampak El Niño tidak memberikan pengaruh terhadap produktivitas padi di tiap Kabupaten/Kota Provinsi Bali adalah karena masyarakat petani dan pemerintah setempat telah menerapkan pola kearifan lokal sebagai sistem mitigasi dan adaptasi yang dikenal dengan istilah Subak. Subak merupakan organisasi tradisional yang mampu mengelola air irigasi dari empelan yaitu suatu bangunan dengan pengambilan air di sungai yang dibangun oleh subak secara swadaya, sampai ke petak sawahnya. Keunggulan subak sebagai suatu sistem irigasi yang dikelola petani secara swadaya untuk semusim, khususnya padi.

Subak tidak hanya terbatas pada organisasi pengelolaan air dan jaringan irigasi, namun berkaitan erat pada produksi pangan, ekosistem lahan sawah beririgasi, dan ritual keagamaan yang terkait dengan budidaya padi [5].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa secara umum kejadian El Niño mempengaruhi kekeringan meteorologis di sebagian wilayah Provinsi Bali. El Niño pada tahun 2015 tergolong El Niño dengan intensitas yang kuat, karena dipengaruhi oleh anomali Suhu Permukaan Laut (SPL) yang tinggi. Pada saat kejadian El Niño terjadi di seluruh Kabupaten/Kota Provinsi Bali produktivitas padi mengalami penurunan, hanya pada tahun 2015 produktivitas padi tetap mengalami peningkatan, hal ini karena sistem adaptasi dan mitigasi pertanian terhadap ancaman kekeringan yakni subak telah diterapkan dengan baik oleh para petani dan pemerintah daerah setempat.

#### Saran

Penelitian terkait analisis kekeringan sebaiknya menggunakan data curah hujan dengan tahun pengamatan yang panjang dan lengkap, agar hasil yang didapat lebih akurat. Wilayah tengah dan timur Indonesia termasuk Provinsi Bali hampir tidak pernah luput dari kekeringan pada saat El Niño, baik El Niño lemah maupun El Niño kuat. Wilayah ini perlu diberikan perhatian khusus dalam hal ketersediaan sumberdaya air maupun potensi dampak negatif yang dapat terjadi saat kekeringan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Data dan Analisa Stasiun Klimatologi Jembrana Bali atas bantuan data dan dukungan yang diberikan. Terima kasih juga kepada *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* atas data Indeks Niño 3.4 yang disediakan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Yosilia, M. A., "Analisis Hubungan El Nino Dengan Kekeringan Meteorologi Menggunakan SPI (Standardized Precipitation Index) Di Pulau Bali", Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1-22, 2014.
- [2] Iswari, A. R., Hani'ah., Nugraha, A. L., "Analisis Fluktuasi Produksi Padi Akibat Pengaruh Kekeringan Di Kabupaten Demak", *Jurnal Geodesi Undip*, Vol. 5 No. 4, 233-242, 2016.
- [3] Saidah, H., Budianto, M. G., Hanifah, L., "Analisa Indeks dan Sebaran Kekeringan Menggunakan Metode

- Standardized Precipitation Index (SPI) dan Geographical Information System (GIS) Untuk Pulau Lombok", *Jurnal Spektran*, Vol. 5, No. 2, 173-179, 2017.
- [4] Philander, S.G. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press. San Diego, CA, 289 pp. 1990.
- [5] Cantika, K., "Pengelolaan Air Subak di Bali", *Proyek Irigasi Bali Denpasar*, Denpasar, 1985.
- [6] Hope, P., Reid, P., Tobin, S., Tully, M., Klekociuk, A., Krummel, P., "Seasonal climate summary southern hemisphere (spring 2014): El Nino continues to try to break through, and Australia has its warmest spring on record", *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 65:2, 2015.
- [7] McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales", *Eight Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 179-184. 1993.
- [8] Nuarsa, I. W., Adnyana, I. W. S., As-syakur, A. R., "Pemetaan Daerah Rawan Kekeringan Di Bali-Nusa Tenggara dan Hubungannya Dengan ENSO Menggunakan Aplikasi Data Penginderaan Jauh", *Jurnal Bumi Lestari*, Vol. 15, No. 1, 20-30, 2015.
- [9] Fadholi, A., "Studi Dampak El Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) Terhadap Curah Hujan Di Pangkalpinang", *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol. 11, 43-50, 2013.
- [10] Putranto, W. W., "Dampak Kejadian La Niña Tahun 2010 Terhadap Curah Hujan Di Kabupaten Jembrana Bali", Tugas Akhir Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta, 2012.
- [11] Edward, C., McKee, T. B., "Characteristics of 20<sup>th</sup> century drought in the United States at multiple timescale", *Climatology Report Colorado State University*, Fort Collins, No 97-2, 1997.
- [12] Salmawati, "Studi Pengaruh Indeks Osilasi Selatan Sebagai Indikator El Nino terhadap Curah Hujan di Sulawesi Utara", *Jurnal Fakultas MIPA Unsrat*, Manado, 2010.
- [13] Susilawati, A., Rokhmatuloh., "Karakteristik dan Dampak Kekeringan Meteorologi terhadap Produktivitas Pertanian Padi di Provinsi Jawa Tengah", Universitas Indonesia, Depok, 1-19, 2017.
- [14] Tjasjono, B., "Klimatologi Umum", Bandung, ITB, 2004.
- [15] Tongkukut, S, H, J., "El-Nino dan Pengaruhnya Terhadap Curah Hujan di Manado Sulawesi Utara", *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 11, No. 1, 102-108, 2011.
- [16] Yananto, A., Sibarani, R, M., "Analisis Kejadian El Niño dan Pengaruhnya Terhadap Intensitas Curah Hujan Di Wilayah Jabodetabek", *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 17 No. 2, 65-73, 2016.
- [17] As-syakur, A. R., 2007, "Identifikasi Hubungan Fluktuasi Nilai SOI Terhadap Curah Hujan Bulanan Di Kawasan Batukaru-Bedugul, Bali", *Jurnal Bumi Lestari*, Vol. 7, No. 2, 123-129.

## VERIFIKASI PARAMETER PRESIPITASI AKUMULASI 24 JAM PADA MODEL CUACA NUMERIK TAHUN 2017-2020

### VERIFICATION OF 24-HR ACCUMULATED PRECIPITATION ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODEL YEAR 2017-2020

Kiki<sup>1\*</sup>, Fakhru Alam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Meteorologi Publik BMKG Indonesia

\*E-mail: [kiki@bmgk.go.id](mailto:kiki@bmgk.go.id); [kiki.ekasiwi@gmail.com](mailto:kiki.ekasiwi@gmail.com)

Naskah masuk: 25 Februari  
2021

Naskah diperbaiki: 15 Juli  
2021

Naskah diterima: 29 Juli 2021

#### ABSTRAK

Parameter presipitasi akumulasi 24 jam dari empat model numerik yang terdapat dalam *operational tool* Synergie, yaitu GFS, IFS, ARPEGE, dan WRF, diverifikasi menggunakan data observasi permukaan harian di 34 titik kajian yang mewakili setiap provinsi di Indonesia. Tiga metode verifikasi yakni dikotomi, multikategori, serta metode verifikasi untuk parameter kontinu digunakan untuk mengukur performa masing-masing model dalam memprediksi kuantitas curah hujan harian dalam periode tahun 2017 hingga 2020. Kajian ini bertujuan untuk membandingkan performa 4 model NWP dalam memprediksi parameter presipitasi 24 jam ke depan di 34 titik kajian di wilayah Indonesia, sehingga dapat menjadi panduan bagi prakirawan dalam menentukan *Reference Model* untuk wilayah masing-masing khususnya dalam memprakirakan kuantitas presipitasi. Berdasarkan hasil kajian model IFS menunjukkan performa terbaik di setiap pengkategorian yang dilakukan dibandingkan dengan 3 model cuaca numerik lainnya, dimana nilai persentase tahunan dalam 4 tahun periode kajian memperoleh hasil 37%, diikuti oleh GFS (22%), WRF (21%), dan ARPEGE (20%).

**Kata kunci:** Presipitasi, Verifikasi, Akurasi.

#### ABSTRACT

The 24-hour accumulated precipitation parameters from four numerical models contained in Synergie's operational tools, namely GFS, IFS, ARPEGE, and WRF, were verified using daily surface observation data at 34 study points representing each province in Indonesia. Three verification methods, namely dichotomies, multicategories, and verification methods for continuous parameters are used to measure the performance of each model in predicting the quantity of daily rainfall in the period 2017 to 2020. This study aims to compare the performance of 4 NWP models in predicting 24-hour precipitation parameters. In the future at 34 study points in the territory of Indonesia, so that it can be a guide for forecasters in determining the Reference Model for their respective regions, especially in estimating the quantity of precipitation. Based on the results of the study, the IFS model showed the best performance in each categorization compared to 3 other numerical weather models, where the annual percentage value in the 4-year study period yielded 37%, followed by GFS (22%), WRF (21%), and ARPEGE (20%).

**Keywords:** Precipitation, Verification, Accuracy.

## 1. Pendahuluan

Posisi Indonesia secara geografis yang berada di lintang tropis dan di antara dua benua serta diapit dua samudra membuat mekanisme pembentukan cuaca dan iklimnya menjadi kompleks, dikarenakan banyaknya faktor yang berperan serta. Beberapa faktor itu diantaranya adalah monsoon Asia dan Australia, *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Cold Surge*, gangguan tropis berupa siklon tropis yang seringkali tumbuh di Samudra Pasifik Barat utara dan timur Papua serta di Samudra Hindia sebelah selatan Indonesia, hingga gelombang-gelombang atmosfer seperti Rossby ekuator, Kelvin, dan *Low Frequency*. Aspek yang tidak kalah pentingnya dalam pembentukan sistem cuaca di Indonesia adalah faktor topografi, elevasi, serta stabilitas atmosfer skala lokal di masing-masing wilayah. Kondisi inilah yang mengakibatkan prediksi cuaca terutama parameter curah hujan yang akurat baik dari segi intensitas, waktu terjadi, hingga sebaran spasialnya menjadi hal yang menantang untuk para prakirawan.

BMKG telah menyediakan *tools* yang diperuntukkan bagi para prakirawan untuk menganalisis faktor-faktor tersebut dan membantu dalam proses pembuatan prakiraan cuaca jangka pendek hingga menengah. Salah satu *tool* yang tersedia adalah Synergie, yang merupakan *workstation* berisi sejumlah keluaran model numerik cuaca dari berbagai negara, diantaranya model *Global Forecast System* (GFS) dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), *Integrating Forecasting System* (IFS) dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), ARPEGE dari *Meteo France*, dan *Weather Research and Forecasting* (WRF) dari *National Center for Atmospheric Research* (NCAR).

Banyaknya opsi model numerik ini selain memperkaya referensi prakirawan dalam menyiapkan prakiraan cuaca namun juga terkadang menimbulkan rasa ragu bagi prakirawan untuk memilih model mana yang sebaiknya dijadikan referensi yang sekiranya akan menghasilkan prakiraan yang paling akurat. Model numerik memiliki dua fungsi penting, yaitu sebagai alat prediksi operasional cuaca dan iklim, dan sebagai alat simulasi dalam kegiatan pendidikan maupun penelitian di bidang sains atmosfer dan meteorologi. Sebelum sebuah model atmosfer dapat digunakan sebagai alat prediksi ataupun simulasi, model tersebut harus terlebih dahulu diverifikasi dan divalidasi [1].

Inilah sebabnya kajian ini penting untuk dilakukan dengan tujuan untuk membantu para prakirawan membandingkan performa keempat model cuaca numerik tersebut pada tiap titik kajian serta masing-masing periode waktu. Diharapkan hasil dari kajian ini mampu menjadi panduan untuk para prakirawan dalam menentukan *reference model* di wilayah masing-masing.

Beberapa kajian dengan tema seputar verifikasi model cuaca numerik telah dilakukan sebelumnya, diantaranya menunjukkan hasil bahwa pola-pola distribusi curah hujan yang pergerakannya yang disimulasikan oleh model secara umum mengikuti pola-pola yang diperlihatkan oleh data pengamatan satelit, di mana pengaruh posisi matahari dan keberadaan benua Australia sangat mempengaruhi pola curah hujan di benua-maritim Indonesia [1]. Kajian lainnya menyebutkan bahwa *skill* prediksi cuaca operasional BMKG ternyata hanya baik pada prediksi dikotomi hujan atau tidak hujan, sedangkan untuk prediksi hujan lebat dan sangat lebat masih memiliki *skill* yang sangat rendah [2]. Penelitian dengan menggunakan metode asimilasi data pengindraan jauh juga telah dilakukan dan mendapat salah satu kesimpulan yang menyatakan pada kriteria hujan sangat lebat, asimilasi satelit belum mampu memperbaiki *skill* model non-asimilasi karena hasilnya semua masih *underestimate* [3]. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa curah hujan hasil asimilasi dan tanpa asimilasi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan data observasinya [4]. Kajian lainnya menyatakan bahwa pada metode dikotomi, model ARPEGE cenderung lebih cocok untuk sebagian besar wilayah Indonesia dibandingkan model cuaca lainnya, namun ketika menggunakan metode multikategori, model IFS lebih mencolok untuk semua kategori di sebagian besar wilayah Indonesia. Dalam diagram Taylor hasil verifikasi tersebut juga menunjukkan nilai korelasi tertinggi dimiliki model IFS, sedangkan nilai standar deviasi paling baik dimiliki model WRF [5].

## 2. Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam kajian ini adalah metode verifikasi standar, dengan 3 macam pendekatan, yaitu metode verifikasi dikotomi, metode verifikasi multikategori, dan metode verifikasi untuk parameter kontinu. Penjelasan komprehensif mengenai ketiga metode ini dapat dilihat pada halaman website yang menjadi acuan penulis [6]. Secara singkat metode verifikasi dikotomi hanya membagi data menjadi dua kategori, yaitu hujan atau tidak hujan.

Dimana threshold secara kuantitatif dari hujan yang digunakan dalam kajian ini adalah 0.1 mm. Sementara metode multikategori membagi data menjadi 4 kategori, yaitu Tidak Hujan, Hujan Ringan, Hujan Sedang, dan Hujan Lebat. Metode verifikasi untuk parameter kontinu, dilakukan dengan menghitung nilai *root mean square error* (RMSE).

Kemudian hasil verifikasi dari ketiga metode ini akan menghasilkan nilai akurasi untuk setiap model numerik yang lalu di beri ranking untuk melihat urutan model dengan nilai akurasi terbaik. Ranking tiap model dari tiap metode verifikasi kemudian dijumlah untuk menentukan model referensi tiap harinya yang kemudian akan direkapitulasi menjadi model referensi perbulan untuk 34 titik kajian. Jika ada kondisi dimana jumlah ranking dari ketiga metode ini sama maka akan melihat dari nilai RMSE yang terkecil untuk menentukan model referensi.

Model numerik yang diverifikasi adalah model GFS 0.5, IFS 0.5, ARPEGE 0.5, dan WRF yang tersedia di *workstation* Synergie, untuk periode waktu tahun 2017 hingga 2020 dengan basis data harian. Parameter keluaran model yang diverifikasi adalah presipitasi akumulasi 24 jam.

Data verifikator yang digunakan adalah data curah hujan harian dari 34 Stasiun pengamatan sinoptik BMKG yang posisi geografisnya (lintang bujurnya) dijadikan referensi dalam mengekstrak nilai parameter keluaran model numerik. Daftar titik kajian dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Titik kajian yang mewakili stasiun pengamatan sinoptik di 34 provinsi di Indonesia.

No Stasiun	Nama Stasiun
96011	Stamet Banda Aceh
96033	Stamar Belawan
96091	Stamet Tanjungpinang
96109	Stamet Pekanbaru
96163	Stamet Padang/Tabing
96195	Stamet Sultan Thaha
96221	Stamet Palembang
96237	Stamet Pangkalpinang
96253	Stamet Bengkulu
96297	Stageof Kotabumi
96529	Tanjung Redep
96581	Stamet Supadio
96607	Stamet Samarinda
96655	Stamet Palangkaraya
96685	Stamet Banjarmasin
96745	Jakarta/Observatory

96749	Stamet Cengkareng
96781	Husein Sastranegara TNI-AU
96839	Stamet Ahmad Yani
96853	Adi Sutjipto TNI-AU
96935	Stamet Juanda
97014	Stamet Menado
97048	Stamet Gorontalo
97096	Stamet Poso
97120	Stamet Majene
97144	Stamar Kendari
97180	Stamet Sultan Hasanuddin
97230	Stamet Ngurah Rai
97240	Stamet Selaparang
97372	Stamet Eltari
97430	Stamet Ternate
97502	Stamet Sorong
97724	Stamet Pattimura
97698	Stamet Dok II Jayapura

Sepanjang periode kajian terdapat 62 hari verifikasi gagal dilakukan karena adanya kendala teknis seperti data model tidak masuk, *synergie off*, dsb.

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Model Referensi Per Tahun.** Berdasarkan hasil verifikasi dalam periode 4 tahun terakhir, model numerik dengan performa terbaik berturut-turut adalah model IFS (37%), GFS (22%), WRF (21%), dan ARPEGE (20%). Persentase diatas menggambarkan frekuensi model tersebut dalam periode 4 tahun menduduki peringkat tertinggi sebagai model referensi di suatu titik kajian. Contohnya untuk model IFS, persentase 37% artinya dari total 1570 data model ini memiliki frekuensi sebanyak 581 kali menjadi model referensi bulanan. Sedangkan model GFS dengan persentase 22% memiliki frekuensi 350 kali sebagai model referensi bulanan dalam 4 tahun terakhir. Dimana total data 1570 merupakan jumlah data bulanan selama 4 tahun dari 4 model numerik, dikurangi dengan data kosong dimana verifikasi tidak dapat dilakukan karena kendala teknis. Hasil ini mendukung hasil penelitian oleh Fathoni (2014) sebelumnya yang menyatakan bahwa dengan metode Multi Kategori, maka model NWP IFS merupakan model NWP dengan performa terbaik untuk sebagian besar wilayah Indonesia.

**Model Referensi Per Bulan.** Model referensi dengan performa terbaik untuk tiap bulannya berdasarkan hasil verifikasi 4 tahun terakhir disajikan dalam Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Model referensi per bulan berdasarkan verifikasi tahun 2017-2020. (sumber: data diolah)

Bulan	Model Referensi	Persentase (%)
Januari	IFS	52
Februari	IFS	41
Maret	IFS	65
April	IFS	50
Mei	IFS	45
Juni	IFS	42
Juli	IFS	29
Agustus	IFS	40
September	IFS	32
Oktober	WRF	43
November	IFS	38
Desember	IFS/GFS/ARP	30

Berdasarkan Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa model referensi perbulan didominasi oleh model IFS, yang menunjukkan performa terbaik di sebagian titik-titik kajian selama periode 4 tahun terakhir. IFS menjadi model referensi perbulan terbaik hampir sepanjang tahun, kecuali di bulan Oktober dimana WRF menunjukkan performa terbaik, dan bulan Desember menunjukkan hasil yangimbang antara model IFS, GFS, dan ARPEGE.

Nilai persentase pada kolom ketiga Tabel 2 menggambarkan persentase jumlah provinsi yang menunjukkan model tersebut merupakan model dengan performa terbaik dari total 34 provinsi. Sebagai contoh persentase IFS di bulan Maret adalah 65% artinya sebanyak 22 titik kajian menunjukkan IFS sebagai model referensi pada bulan tersebut.

**Model Referensi Per Musim.** Sementara jika dikelompokkan per musim hasil verifikasi model numerik menjadi seperti yang disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Model referensi per musim berdasarkan verifikasi tahun 2017-2020. (sumber: data diolah)

Periode	Model Referensi	Persentase (%)
DJF	IFS	71
MAM	IFS	65
JJA	IFS	46
SON	WRF	42

Jika dikelompokkan berdasarkan periode musim, maka model IFS masih terlihat paling dominan dibandingkan ketiga model numerik lainnya. Model IFS menjadi model referensi untuk periode musim DJF (Des-Jan-Feb), MAM (Mar-Apr-Mei), dan JJA (Jun-Jul-Ags). Sementara untuk periode SON (Sep-Okt-Nov) model WRF menunjukkan performa terbaik.

Persentase pada Tabel 3 menunjukkan jumlah titik kajian yang menunjukkan model tersebut sebagai model referensi pada musim

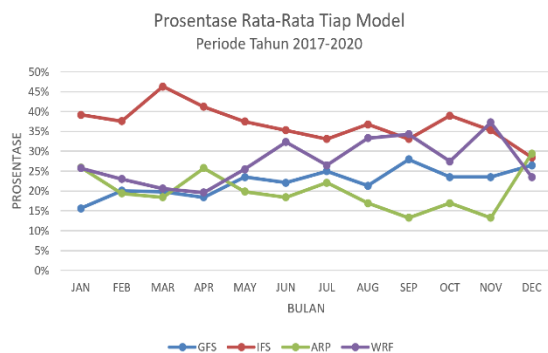
**Model Referensi Per-titik Kajian.** Titik kajian dipilih sesuai dengan posisi geografis Stasiun pengamatan sinoptik di 34 provinsi di Indonesia. Hasil verifikasi untuk tiap titik yang dianggap merepresentasikan 34 provinsi di Indonesia disajikan dalam Tabel 4 berikut ini.

**Tabel 4.** Model referensi per provinsi berdasarkan verifikasi tahun 2017-2020. (sumber: data diolah)

Provinsi	Model Referensi	Persentase (%)
Aceh	IFS	80
Sumatera Utara	WRF	41
Riau	IFS	40
Sumatera Barat	GFS/WRF/ARPEGE	27
Kep. Riau	GFS	41
Jambi	IFS	38
Bengkulu	IFS	75
Sumatera Selatan	IFS	35
Bangka Belitung	IFS	44
Lampung	IFS	45
Banten	IFS	45
Jakarta	IFS	33
Jawa Barat	IFS	72
Jawa Tengah	GFS	41
Yogyakarta	IFS	50
Jawa Timur	WRF	44
Kalimantan Barat	GFS	39
Kalimantan Tengah	IFS	33
Kalimantan Selatan	IFS	45
Kalimantan Timur	IFS	50
Kalimantan Utara	IFS	50
Bali	IFS	44
NTB	IFS	50
NTT	IFS	55
Sulawesi Barat	GFS	41
Sulawesi Tengah	ARPEGE	41
Sulawesi Selatan	IFS	55
Sulawesi Tenggara	WRF	36
Gorontalo	GFS	60
Sulawesi Utara	IFS	45
Maluku Utara	IFS	77
Maluku	GFS	41
Papua Barat	IFS	45
Papua	IFS	40

Berdasarkan hasil verifikasi per provinsi, diperoleh hasil bahwa model IFS menunjukkan hasil terbaik, dengan menjadi model referensi dari 23 provinsi, diikuti oleh GFS dengan 6 provinsi, WRF dengan 3 provinsi, dan ARPEGE dengan 1 provinsi. Sementara 1 provinsi lainnya yaitu Sumatera Barat menunjukkan hasil yangimbang antara model numerik GFS, WRF, dan ARPEGE. Beberapa provinsi yang menunjukkan level persentase yang tinggi, diatas 60%, yang menandakan bahwa model referensi tersebut hampir selalu menunjukkan performa yang baik, ada 4 provinsi yaitu Aceh (IFS-80%), Bengkulu (IFS-75%), Jawa Barat (IFS-72%), dan Maluku Utara (IFS-77%).

**Persentase Tiap Model Numerik Rata-Rata Per Bulan.** Untuk membandingkan performa tiap model numerik yang dikaji dalam memprediksi parameter presipitasi 24 jam, nilai persentase rata-rata dari keempat model dihitung untuk setiap bulannya dalam kurun waktu 4 tahun terakhir. Dimana persentase ini menggambarkan performa tiap model setiap bulannya sebagai model referensi di 34 titik kajian. Sebagai contoh untuk bulan Januari, model IFS memiliki persentase rata-rata sebesar 39%, yang artinya selama bulan Januari rata-rata sebanyak 39% dari 34 titik kajian atau sekitar 13 titik menunjukkan IFS sebagai model dengan akurasi terbaik dalam memprediksi parameter presipitasi 24 jam, dibandingkan 3 model lainnya. Hasil perhitungan persentase rata-rata per bulan selengkapnya disajikan dalam grafik pada Gambar 1 berikut ini.



**Gambar 1.** Grafik nilai persentase rata-rata per bulan tiap model numerik periode tahun 2017-2020. (sumber: data diolah)

Secara visual tampak bahwa model IFS (garis merah) menunjukkan nilai persentase rata-rata per bulan yang lebih unggul dibanding model numerik lainnya, dengan kisaran nilai antara 28% - 46%, atau artinya antara 9 hingga 16 titik kajian menunjukkan IFS sebagai model referensi. Sementara posisi terbaik kedua diduduki oleh model WRF dengan kisaran nilai persentase antara 20% hingga 37%, atau antara

7 hingga 13 titik kajian yang menunjukkan WRF merupakan model referensi. Posisi terbaik ketiga ditempati model GFS, dengan nilai persentase rata-rata antara 16% - 28% atau antara 5 hingga 9 titik kajian. Dan posisi terakhir diperoleh oleh model ARPEGE dengan kisaran nilai persentase rata-rata antara 13% - 29% atau antara 4 hingga 10 titik kajian yang menunjukkan bahwa model ini merupakan model referensinya.

Dalam kurun waktu kajian, keempat model ini juga menunjukkan periode yang beragam dalam performa terbaik dan terburuknya. Untuk IFS, model ini menunjukkan performa terbaik di bulan Maret dan terburuk di bulan Desember. Sementara WRF menunjukkan performa terbaik di November dan terburuk di bulan April. GFS memiliki performa terbaik di bulan September dan terburuk di bulan Januari. Sedangkan ARPEGE memiliki performa terbaik di bulan Desember dan terburuk di bulan September.

#### 4. Kesimpulan

Beberapa poin yang bisa penulis ambil sebagai kesimpulan dari kajian ini adalah sebagai berikut:

- Model numerik dengan performa terbaik dalam kurun waktu 4 tahun terakhir, yaitu antara tahun 2017-2020, dalam memprediksi parameter presipitasi akumulasi 24 jam di wilayah Indonesia masih didominasi oleh IFS 0.5 dari ECMWF. IFS terbukti dominan di berbagai pengklasifikasian, baik per tahun, per bulan, per musim, per provinsi, hingga persentase rata-rata per bulan dibandingkan 3 model numerik lainnya yakni GFS, ARPEGE, dan WRF.
- Secara spasial, model IFS juga menunjukkan dominasinya di sebagian besar wilayah Pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan, Nusa Tenggara, Maluku, serta Papua. Hanya Pulau Sulawesi yang menunjukkan hasil yang beragam untuk keempat model NWP yang diverifikasi, dimana model IFS dan GFS unggul di 2 provinsi, sementara WRF dan ARPEGE masing-masing unggul di 1 provinsi.
- Titik kajian yang dalam hal ini dianggap merepresentasikan provinsi yang menunjukkan korelasi yang kuat terhadap tingkat performa model numerik yang signifikan (diatas 70%) berdasarkan hasil kajian ini adalah provinsi Aceh, Bengkulu, Jawa Barat, dan Maluku Utara. Keempatnya menunjukkan bahwa model numerik IFS cukup konsisten menjadi referensi model di wilayah tersebut selama periode kajian.

## Daftar Pustaka

- [1] D. Satiadi, N. Adikusumah. (2009). Verifikasi Model Atmosfer Wilayah Terbatas Dalam Simulasi Curah Hujan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 2009, pp. F507-F514.
- [2] I. Gustari. (2014). *Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Hujan Sangat Lebat Terkait dengan Sistem Awan di Jabodetabek Menggunakan Asimilasi Data Radar C-Band*. (Disertasi). Institut Teknologi Bandung.
- [3] P. Ismail, A.K. Silitonga, A. Fadhlán. (2018). Performa Model WRF Asimilasi Data Satelit Cuaca Pada Kejadian Curah Hujan Lebat di Jabodetabek. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 19 No.2, pp. 69-74.
- [4] H. Burrahman, A.K. Silitonga, I. H. Batubara, A. Fadhlán. (2018). Pengaruh Asimilasi Model Cuaca Weather Research Forecast (WRF) Dengan Data Radiasi Satelit Terhadap Estimasi Curah Hujan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*.
- [5] I. Fathoni. (2014). Verifikasi Prediksi Curah Hujan Pada Sistem Prakiraan Nasional Berbasis Digital dengan Data Observasi Wilayah Indonesia. Skripsi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [6] World Research Programme. Retrieved from: <https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>.
- [7] BMKG. Verifikasi Model Tahun 2017. Sub Bidang Peringatan Dini Cuaca, Pusat Meteorologi Publik.
- [8] BMKG. Verifikasi Model Tahun 2018. Sub Bidang Peringatan Dini Cuaca, Pusat Meteorologi Publik.
- [9] BMKG. Verifikasi Model Tahun 2019. Sub Bidang Peringatan Dini Cuaca, Pusat Meteorologi Publik.
- [10] BMKG. Verifikasi Model Tahun 2020. Sub Bidang Peringatan Dini Cuaca, Pusat Meteorologi Publik.

## Estimasi Debit Aliran Menggunakan Data Radar Cuaca (Studi Kasus : DAS Manna, Bengkulu)

### *Discharge Estimation Using Weather Radar Data (Case Study : Manna Watershed, Bengkulu)*

Muhammad Fajar Handoyo<sup>1 3\*</sup>, M Pramono Hadi<sup>2</sup>, Slamet Suprayogi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Yogyakarta.55281.

<sup>2</sup>Departemen Geografi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Yogyakarta.55281.

<sup>3</sup>Stasiun Meteorologi Fatmawati, Jl Depati Payung Negara Pekanbaru Sabtu Bengkulu 38213.

\*E-mail: handoyomuhammadfajar@gmail.com

Naskah masuk: 29 Maret  
2021

Naskah diperbaiki: 15 Juli  
2021

Naskah diterima: 29 Juli 2021

#### ABSTRAK

Radar cuaca memiliki kelebihan dalam mengestimasi curah hujan, karena memiliki resolusi spasial yang tinggi (mencapai 0.5 km). Curah hujan estimasi radar cuaca dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan, diantaranya untuk pemodelan hidrologi. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan radar cuaca BMKG Bengkulu untuk estimasi debit aliran di DAS Manna pada bulan Desember 2018. Persamaan Z-R ditentukan berdasarkan data reflektivitas radar (Z) dan curah hujan pengamatan (R). Pengolahan data radar cuaca menggunakan perangkat lunak *wradlib* berbasis bahasa pemrograman *python*. Model hidrologi HEC-GeoHMS dan HEC-HMS digunakan untuk menghitung debit aliran berdasarkan inputan curah hujan radar cuaca. Metode *Gridded Soil Conservation Service Curve Number* (SCS CN) dan *ModClark* digunakan untuk menentukan metode kehilangan dan waktu tempuh yang dibutuhkan air hingga ke titik *outlet*. Sedangkan aliran dasar dan *routing* masing-masing menggunakan metode *Recession* dan *Lag*. Hasilnya, diperoleh persamaan antara reflektivitas radar cuaca dan curah hujan pengamatan sebesar  $Z=2,65R^{1,3}$ . Debit simulasi menghasilkan nilai RMSE sebesar 11,99 m<sup>3</sup>/detik sebelum dikalibrasi, dan RMSE sebesar 4.37 m<sup>3</sup>/detik setelah dikalibrasi. Selain itu, curah hujan estimasi radar cuaca memiliki pola yang sama dengan fluktuasi debit harian DAS Manna.

**Kata Kunci** : Radar Cuaca, Debit, Daerah Aliran Sungai, Manna.

#### ABSTRACT

*Weather radar has an advantage in estimating rainfall, because it has a high spatial resolution (up to 0.5 km). Weather radar estimated rainfall can be used for various needs, including for hydrological modeling. This study aims to utilize the Bengkulu BMKG weather radar to estimate discharge of the Manna watershed in December 2018. The Z-R equation is determined based on radar reflectivity (Z) and observed rainfall (R) data. Weather radar data processing uses *wradlib* software based on the Python programming language. The HEC-GeoHMS and HEC-HMS hydrological models were used to calculate the discharge based on the weather radar rainfall input. The Gridded Soil Conservation Service Curve Number (SCS CN) and *ModClark* methods are used to determine the method of loss and travel time required for water to the outlet point. Meanwhile, base flow and routing use *Recession* and *Lag* methods. As a result, the equation between weather radar reflectivity and observed rainfall is  $Z=2,65R^{1,3}$ . The simulation discharge produces an RMSE value of 11.99 m<sup>3</sup>/second before calibration, and an RMSE of 4.37 m<sup>3</sup>/second after calibration. In addition, the rainfall forecasted by weather radar has the same pattern as the daily discharge fluctuation of the Manna watershed.*

**Keywords** : Weather Radar, Discharge, Watershed, Manna.

## 1. Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Manna merupakan salah satu DAS yang berhulu di provinsi Sumatera Selatan, dan bermuara ke Samudera Hindia yang berada di provinsi Bengkulu. Secara geografis, DAS Manna terletak pada koordinat  $102^{\circ} 51' 38.2''$  -  $103^{\circ} 10' 57.8''$  Bujur Timur dan  $4^{\circ} 0'39.6''$  -  $4^{\circ} 29'38.0''$  Lintang Selatan [1].

Data debit aliran sungai dapat digunakan untuk identifikasi perubahan kuantitas aliran yang terjadi, sehingga bermanfaat untuk perencanaan dan pengelolaan suatu DAS [2]. Menurut data dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Sumatera VII tahun 2012 sampai dengan 2018, debit aliran rata-rata bulanan terbesar di DAS Manna terjadi pada bulan Desember, yaitu sebesar  $51.7 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Informasi ini menunjukkan bahwa bulan Desember terjadi fluktuasi maksimum debit terbesar di DAS Manna.

Radar cuaca merupakan alat penginderaan jauh sistem aktif yang dapat mengukur curah hujan secara tidak langsung. Radar cuaca memiliki kelebihan karena memiliki resolusi spasial yang detail (mencapai 0,5 km). Resolusi radar dapat memberikan estimasi curah hujan yang terjadi di suatu wilayah yang tidak terdapat alat penakar hujan [3], [4]. Penentuan nilai curah hujan (R) data radar cuaca masih harus dikonversi berdasarkan persamaan (Z-R), yaitu persamaan yang menggunakan data reflektivitas radar (Z) dan curah hujan observasi di permukaan sebagai pembandingnya [5].

Salah satu model hidrologi yang digunakan untuk menghitung prakiraan debit berdasarkan inputan data curah hujan adalah HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System*). Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [6]–[10] menunjukkan bahwa model HEC-HMS dapat merepresentasikan debit aliran berdasarkan inputan data hujan.

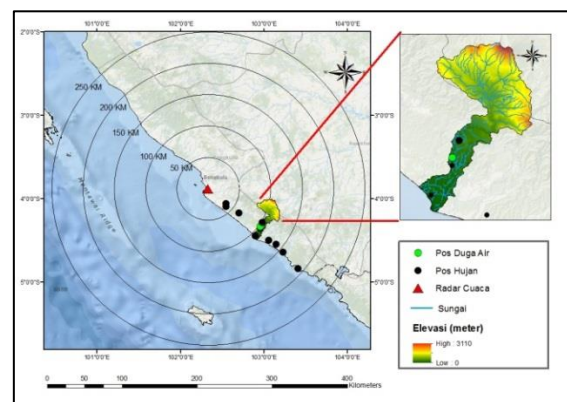
Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan data radar cuaca untuk mengestimasi debit aliran harian DAS Manna. Hal ini bermanfaat untuk perencanaan dan pengelolaan DAS Manna. Model hidrologi HEC-HMS digunakan untuk mengestimasi hujan menjadi debit aliran. Bulan Desember dipilih untuk melakukan penelitian ini, karena pada bulan tersebut terjadi debit terbesar dalam waktu satu tahun.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Manna, yang berhulu di provinsi Sumatera Selatan, dan bermuara ke Samudera

Hindia yang berada di provinsi Bengkulu. Secara geografis, DAS Manna terletak pada koordinat  $102^{\circ} 51' 38.2''$  -  $103^{\circ} 10' 57.8''$  Bujur Timur dan  $4^{\circ} 0'39.6''$  -  $4^{\circ} 29'38.0''$ . Peta lokasi DAS Manna dapat dilihat pada gambar 1 dan proses penelitian ini digambarkan pada kerangka pemikiran seperti pada Gambar 2.

Penelitian dilakukan pada bulan Desember tahun 2018. Waktu ini dipilih karena berdasarkan data dari Balai Wilayah Sungai Sumatera VII pada bulan tersebut terjadi debit terbesar dalam kurun waktu satu tahun. Hal ini bertujuan untuk melihat fluktuasi maksimum debit terbesar di DAS Manna. Lokasi sebaran pos hujan, radar cuaca, dan pos duga air ditampilkan pada gambar 1.

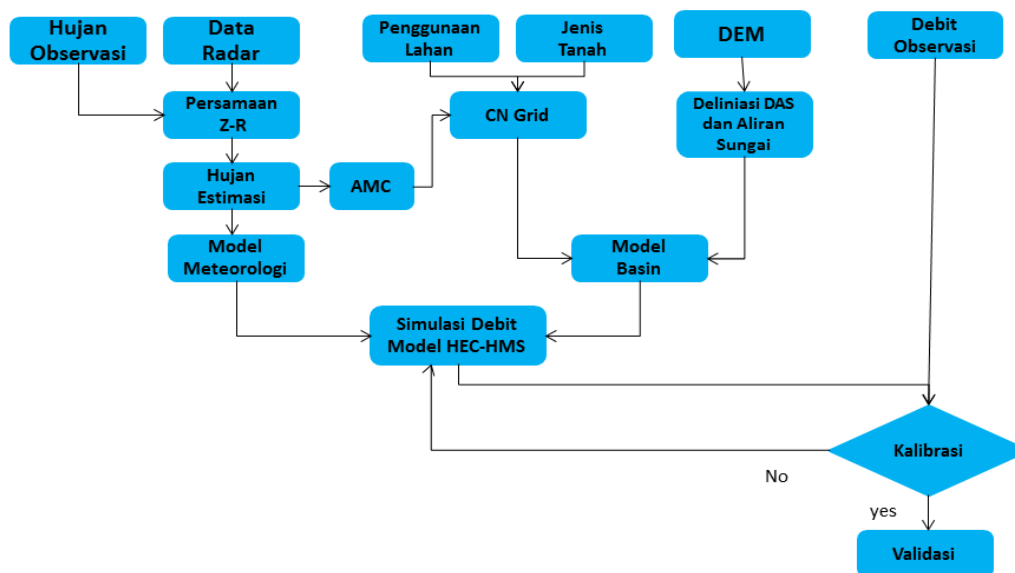


Gambar 1. Lokasi penelitian

Data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data radar cuaca BMKG Bengkulu bulan Desember tahun 2018 yang berada pada  $3^{\circ} 51' 30.9''$  LS dan  $102^{\circ} 20' 28.0''$  BT. Radar cuaca dapat menjangkau wilayah hingga radius 250 km dari pusat radar, dan ketinggian hingga 10 km.
2. Data curah hujan dari 10 pos hujan BMKG pada bulan Desember 2018 di lokasi Batu Bandung ( $04^{\circ}21'36.1''$  LS;  $102^{\circ}57'23.4''$  BT), Manna ( $04^{\circ}26'45.6''$  LS;  $102^{\circ}54'15.4''$  BT), Ulu Manna ( $04^{\circ}17'60.0''$  LS;  $102^{\circ}58'52.2''$  BT), Bunga Mas ( $04^{\circ}30'10.7''$  LS;  $102^{\circ} 58'31.2''$  BT), Sulau ( $04^{\circ}32'58.1''$  LS;  $103^{\circ} 09'10.4''$  BT), Kanpel Linau ( $04^{\circ}50'19.1''$  LS;  $103^{\circ}24'49.4''$  BT), Tanjung Harapan ( $04^{\circ} 37'50.3''$  LS;  $103^{\circ}14'29.1''$  BT), Masmambang ( $04^{\circ}10'06.7''$  LS;  $102^{\circ}42'14.4''$  BT), Rimbo Kedui ( $04^{\circ}05'39.6''$  LS;  $102^{\circ}33'00.5''$  BT), Talang Dantuk ( $04^{\circ}03'41.0''$  LS;  $102^{\circ}32'56.0''$  BT).
3. Data debit aliran sungai Manna bulan Desember 2018 dari Balai Wilayah Sungai Sumatera VII yang berlokasi pada  $04^{\circ}20'12''$  LS dan  $102^{\circ}57'21''$  BT.

4. Data *Digital Elevation Model* (DEM) yang digunakan adalah SRTM USGS (*Shuttle Radar Terrain Mission United State Geological Survey*) resolusi 30 meter (format GeoTIFF).
5. Citra *Landsat 8* resolusi 30 meter.
6. adalah peta jenis tanah yang diperoleh dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) skala 1 : 250.000.



**Gambar 2.** Kerangka Pemikiran

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu perangkat lunak ArcGIS 10.5, *wradlib* yang berbasis bahasa pemrograman *python*, Hec-GeoHMS, HEC-HMS 4.2, HEC-DSSVue. HEC-Grid Util 2.0.

Ada 3 metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu model meteorologi untuk mengolah data radar dan hujan, model *basin* untuk penentuan metode hidrologi yang digunakan, dan metode statistik untuk analisa data. Metode-metode tersebut dijelaskan sebagai berikut.

Model meteorologi, digunakan untuk mengolah data radar cuaca BMKG Bengkulu dalam ekstensi *volumetric* (.vol) diubah terlebih dahulu ke dalam format netcdf menggunakan aplikasi *wradlib* berbasis *python* [11]. Kemudian data radar diubah ke dalam format grid ascii menggunakan Arc GIS. Setelah itu diubah lagi ke dalam format *Data Storage System* (.dss) menggunakan aplikasi HEC-DSSVue dan HEC-Grid Util, agar dapat diolah menggunakan aplikasi HEC-HMS.

Penentuan nilai curah hujan dilakukan dengan metode yang menghubungkan faktor reflektivitas data radar  $Z$  ( $\text{mm}^6 \text{M}^{-3}$ ) dengan intensitas curah hujan  $R$  ( $\text{mm h}^{-1}$ ). Pendekatan yang digunakan adalah dengan membuat hubungan antara reflektivitas radar dengan data hujan terukur hasil pencatatan penakar hujan

[5]. Persamaan umum yang dikenal sebagai hubungan Z-R ditunjukkan pada persamaan 1, dimana  $a$  dan  $b$  adalah konstanta.

$$Z = a R^b \quad (1)$$

Model basin, digunakan untuk inputan model HEC-HMS. Proses ini membutuhkan data DEM, Peta penggunaan lahan, peta jenis tanah dan *LookUp table*. Data DEM diolah menggunakan aplikasi ArcGIS 10.5, HEC-GeoHMS dan Arc-Hydro untuk persiapan deliniasi jaringan sungai dan DAS dengan beberapa tahapan, yaitu *fill sinks*, *flow direction*, *flow accumulation*, *stream definition*, *stream segmentation*, *catchment grid delineation*, *catchment polygon processing*, *drainage line processing*, *new hms project*, *generate project*, *characteristics*, *hsm input/parameter*, *hms schematic*, *prepare data for model export* [12].

Metode pemanfaatan hujan estimasi radar cuaca menjadi debit aliran menggunakan metode kehilangan infiltrasi (*infiltration loss*) yaitu *gridded Soil Conservation Service Curve Number* (*gridded SCS-CN*). Parameter yang digunakan untuk menghitung hujan menjadi aliran pada metode CN adalah jenis tanah, penggunaan lahan, kondisi *Antecedent Moisture Content* (AMC) atau keadaan air tanah sebelumnya [13]. CN adalah bilangan kurva yang nilainya berkisar antara 0 sampai dengan

100. Nilai CN DAS ditetapkan dengan menggunakan nilai rata-rata tertimbang luas DAS. Untuk Das yang memiliki bermacam jenis tanah dan penggunaan lahan nilai CN dihitung berdasarkan kompositnya (CN komposit), nilai CN komposit dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$CN_{\text{komposit}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

CN<sub>komposit</sub> adalah adalah CN komposit yang digunakan untuk menghitung volume limpasan, i adalah indeks dengan penggunaan lahan dan jenis tanah yang sama, CN<sub>i</sub> adalah CN pada sub-DAS ke-i dan A<sub>i</sub> adalah luasan sub-DAS ke-i.

Perhitungan nilai CN pada metode SCS CN menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Dinas konservasi Tanah Amerika Serikat seperti pada persamaan 3 [14].

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (3)$$

Dimana P<sub>e</sub> adalah Curah Hujan efektif (mm), P Curah Hujan Total (mm), S adalah Kapasitas Lapang atau retensi potensial maksimum (mm). Hubungan antara S dan I<sub>a</sub> digambarkan pada persamaan 4.

$$I_a = 0.2 S \quad (4)$$

Hubungan nilai S terhadap CN di tunjukkan pada persamaan (5).

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \quad (5)$$

Nilai CN dipengaruhi berdasarkan laju infiltrasi tanah. Menurut [14] tanah diklasifikasikan menjadi empat kelompok berdasarkan laju infiltrasinya, yaitu A, B, C dan D (Tabel 1). Pada akhirnya nilai CN ditentukan oleh kondisi kelengasan tanah *Antecedent Moisture Content* (AMC) yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Variasi waktu tempuh dari semua sub-DAS ke titik outlet dihitung menggunakan metode ModClark. Model *ModClark* terdiri atas reservoir linear dan kanal linear. Limpasan ditentukan dengan memperhitungkan perpindahan (*translation*) dan penyimpanan (*storage*). Perpindahan pada metode *ModClark* dihitung menggunakan persamaan 6. Dimana  $t_{\text{cell}}$  adalah waktu tempuh sel ke *outlet*,  $t_c$  adalah waktu konsentrasi sub-DAS,  $d_{\text{cell}}$  adalah Jarak tempuh sel ke *outlet* dan  $d_{\text{max}}$  adalah jarak tempuh terjauh sel ke *outlet*.

$$t_{\text{cell}} = t_c \times \frac{d_{\text{cell}}}{d_{\text{max}}} \quad (6)$$

Aliran dasar dihitung menggunakan penurunan eksponensial melalui model resesi seperti persamaan 7. Q<sub>t</sub> adalah aliran dasar pada waktu t, Q<sub>0</sub> aliran dasar pada t=0, K konstanta penurunan eksponensial dan t waktu limpasan terjadi.

$$Q_t = Q_0 \times k^t \quad (7)$$

Metode *routing* merupakan persamaan matematis yang digunakan untuk memprediksi perubahan besaran dan kecepatan aliran yang terjadi [10]. Salah satu metode *routing* yang terdapat pada aplikasi HEC-HMS adalah metode *lag* yang dijelaskan pada persamaan 8. Dimana O<sub>t</sub> adalah *outflow* ordinat hidrograf pada waktu t, I<sub>t</sub> *Inflow* ordinat hidrograf pada waktu t, dan *lag* waktu dimana ordinat *inflow* mengalami *lag*.

$$O_t = \begin{cases} I_t & t < \text{lag} \\ I_{t-\text{lag}} & t \geq \text{lag} \end{cases} \quad (8)$$

Analisis data dilakukan menggunakan metode statistika yaitu melakukan kalibrasi dan validasi Model dengan data observasi. Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan parameter model yang mendekati sebenarnya. Validasi model dengan melakukan uji statistik terhadap data observasi. Metode statistik yang digunakan adalah RMSE (*Root Mean Square Error*) dan Koefisien Korelasi, dengan penjelasan pada persamaan 9 dan persamaan 10.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i')^2}{n}} \quad (9)$$

Dimana RMSE adalah *Root Mean Square Error*, Y<sub>i</sub> data observasi pada pengamatan ke i, Y<sub>i</sub>' data Pengamatan pada pengamatan ke i, n jumlah data.

$$r(x, y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

Dimana r adalah koefisien korelasi, x nilai variabel bebas, y nilai variabel terikat.

**Tabel 1.** Klasifikasi Jenis Tanah berdasarkan infiltrasi minimum (*Soil type classification based on minimum infiltration*)

Jenis	Tekstur	Keterangan	Laju infiltrasi (mm/jam)
A	Pasir, Pasir berlempung, lempung berpasir	Limpasan kecil, infiltrasi tinggi	203,2 – 304,8
B	Lempung, lempung berlumpur	Limpasan kecil, infiltrasi sedang	101,6 – 203,2
C	Lempung liat berpasir	Limpasan sedang, infiltrasi rendah	25,4 – 101,6
D	Lempung liat, lempung liat berlumpur, liat berpasir atau liat	Limpasan tinggi, infiltrasi rendah	0,0 -25,4

**Tabel 2.** Kondisi AMC dan batasan jumlah curah hujan (*AMC conditions and limits of accumulation rainfall*)

AMC	Kondisi Tanah	Total Curah Hujan 5 Hari Sebelumnya (mm)	
		Musim Dorman	Musim Tumbuh
I	Kondisi tanah kering tetapi tidak sampai pada titik layu, pernah ditanami dengan hasil memuaskan.	<13	<35
III	Kondisi rata-rata	13-28	35 – 53
IIII	Hujan lebat atau ringan dengan suhu rendah telah terjadi dalam lima hari terakhir, tanah jenuh	>28	>53

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hubungan antara reflektivitas radar cuaca (Z) terhadap curah hujan (R) dicari menggunakan persamaan 1. Koefisien a dan b diperoleh dengan menggunakan regresi linier hasil logaritma kedua sisi nya. Data reflektivitas radar cuaca BMKG Bengkulu dan curah hujan observasi dari 10 penakar hujan bulan Desember tahun 2018, digunakan untuk menentukan nilai koefisien a dan b. Hasilnya didapat nilai koefisien a sebesar 2.65 dan b sebesar 1.3. Sehingga persamaan umum Z-R *relation* pada radar cuaca BMKG di peroleh seperti persamaan 11.

$$Z = 2.65 R^{1.3} \quad (11)$$

Penentuan nilai a dan b pada persamaan 11 tidak memperhitungkan jenis hujan yang terjadi (nilai setiap pixel dianggap sama untuk setiap jenis hujan). Nilai a dan b pada persamaan 11 mendekati dengan persamaan Z-R dengan pendekatan orografis, yaitu masing-masing sebesar 31 dan 1.7 [15]. Dimana proses terbentuknya hujan di wilayah pantai barat sumatera termasuk DAS Manna, didominasi oleh pengaruh orografis karena adanya pegunungan bukit barisan. Sehingga nilai yang dihasilkan menunjukkan hasil yang lebih mendekati.

Persamaan 11 digunakan untuk mencari nilai curah hujan estimasi radar cuaca BMKG Bengkulu di wilayah DAS Manna. Gambaran hujan estimasi radar cuaca secara spasial ditunjukkan pada gambar 3.

Curah hujan estimasi dilakukan uji statistik sederhana menggunakan koefisien korelasi (r) pada pos hujan yang berada di DAS Manna, yaitu pada pos hujan Ulu Manna, Batu Bandung, dan Manna. Hasil uji statistik menunjukkan

korelasi (r) antara curah hujan estimasi radar cuaca terhadap curah hujan pengamatan sebesar 0.98 untuk lokasi penakar hujan Batu Bandung, 0.97 untuk penakar hujan Manna, dan 0.96 untuk Ulu Manna (Gambar 4).

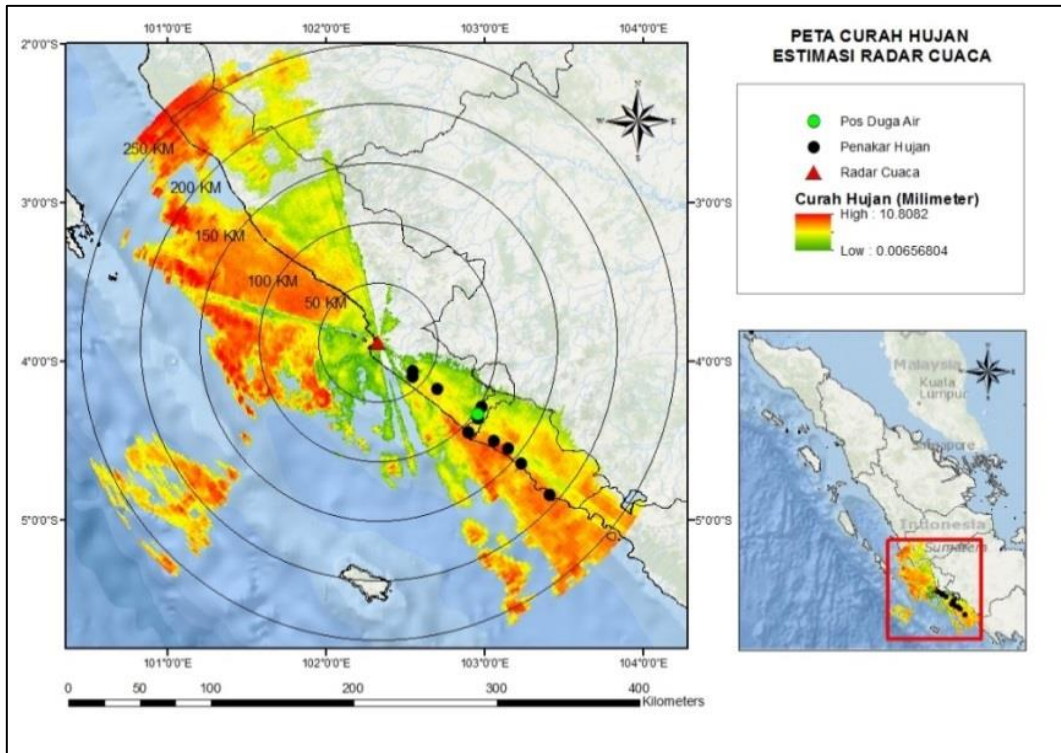
Data curah hujan estimasi radar cuaca kemudian dikonversi dalam format ascii (.asc) selanjutnya di *generate* ke dalam format *data storage system* (.dss), agar dapat diolah menggunakan perangkat lunak HEC-HMS. Proses pengolahan data dari format (.ascii) ke (.dss) menggunakan menu *Generate DSS from ASCII grid* pada aplikasi HEC-GeoHMS. *Data Storage System* (.dss) yang masih berupa data *single grid* atau hanya menunjukkan satu waktu saja, disatukan menjadi satu file data (.dss) *grid set* menggunakan aplikasi HEC-GridUtil (Gambar 5). Setelah menjadi data *grid set*, data radar telah siap di input ke dalam aplikasi HEC-HMS.

Hasil perhitungan peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah DAS Manna, dengan batasan nilai pada kondisi AMC diperoleh peta Bilangan Kurva (*Curve Number*) untuk DAS Manna seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

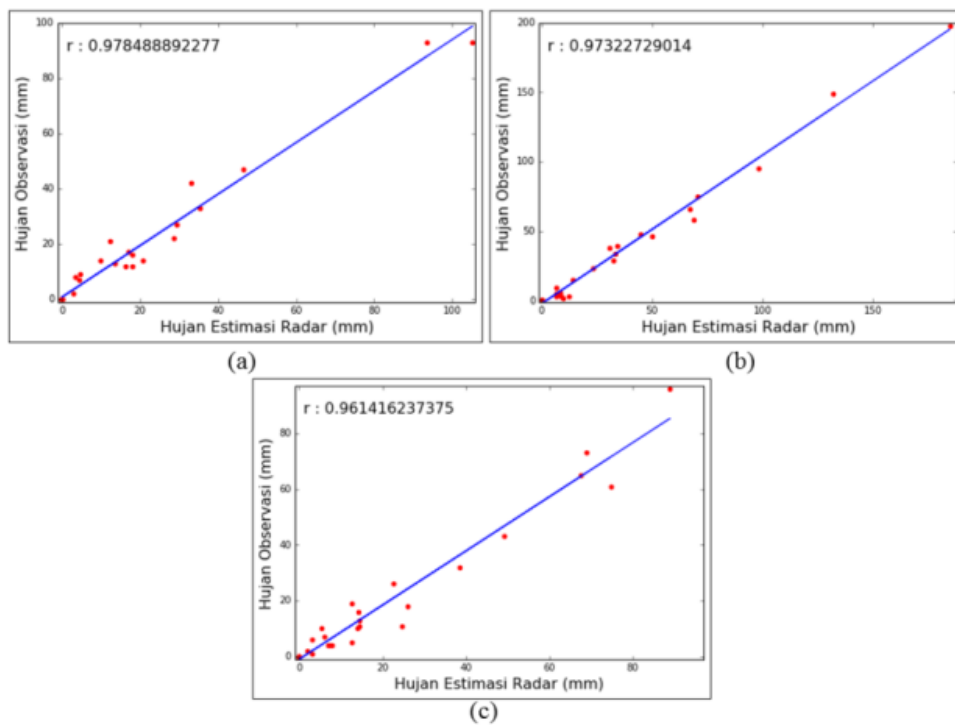
DAS Manna didominasi jenis tanah tipe C, yang memiliki luas sekitar 363.77 km<sup>2</sup> atau 50.49% dari total keseluruhan DAS Manna (lihat Tabel 4.2). Jenis tanah tipe D memiliki luas sekitar 267.61 km<sup>2</sup> atau 37.14%. Jenis tanah tipe A memiliki luas sekitar 52.36 km<sup>2</sup> atau 7.27 %, dan jenis tanah tipe B memiliki luas sekitar 36.81 atau 5.11%. Dari hasil analisis citra diperoleh bahwa DAS Manna didominasi oleh pertanian lahan kering dengan luas lahan 427.02 km<sup>2</sup> atau 59,26% dari total luas wilayah. Hutan sekunder menempati urutan kedua seluas 164.82 km<sup>2</sup> (22.87 %). Hutan primer memiliki luas wilayah 74.13 km<sup>2</sup> (10.29%). Semak belukar seluas 33.12 km<sup>2</sup> (4.60%). Kebun seluas

13.01 km<sup>2</sup> (1.81%). Permukiman seluas 7.87 km<sup>2</sup> (1.09%). Yang terakhir adalah hutan tanaman seluas 0.58 km<sup>2</sup> (0.08%). Hasil

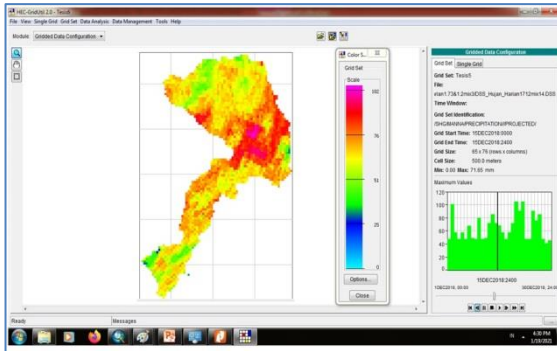
pengolahan data penggunaan lahan dan jenis tanah sesuai kondisi AMC, maka diperoleh peta bilangan kurva (*curve number*).



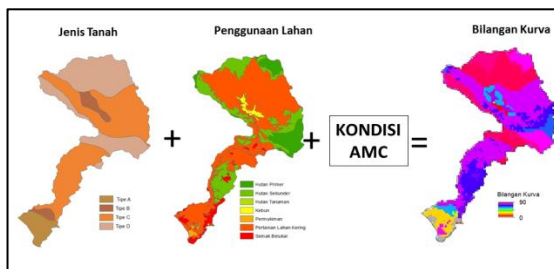
**Gambar 3.** Peta curah hujan estimasi radar cuaca Bengkulu tanggal 22 Desember 2018 pukul 16.30 hingga 17.00 UTC berdasarkan persamaan Z-R. (sumber: data diolah)



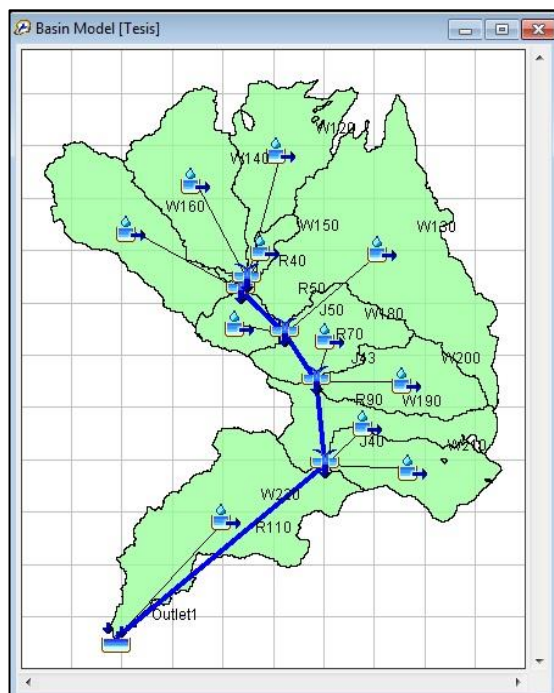
**Gambar 4.** Korelasi hujan harian estimasi radar cuaca terhadap hujan observasi pada penakar hujan Batu Bandung (a), Manna (b) dan Ulu Manna (c) (sumber: data diolah)



**Gambar 5.** Data hujan radar cuaca dalam format grid set untuk masukan model meteorologi pada HEC-HMS (sumber: data diolah)



**Gambar 6.** Proses pembuatan peta bilangan kurva (sumber: data diolah)



**Gambar 7.** Hasil proses deliniasi jaringan sungai dan DAS. (sumber: data diolah)

Proses deliniasi DAS dan jaringan sungai pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.5 dengan ekstensi Hec-GeoHMS dan Arc-Hydro. Hasilnya, diperoleh 11 Sub-DAS yang dinamai dengan awalan huruf "W", aliran sungai, titik tengah Sub-DAS, dan aliran sungai

terjauh (Gambar 7). Titik *outlet* ditetapkan berdasarkan lokasi Pos Duga Air milik Balai Wilayah Sungai (BWS) Sumatera VII tempat pengamatan debit aliran dilakukan.

Model HEC-HMS ditentukan parameter awal model sesuai metode yang dipilih. Parameter yang dipilih untuk masukan model HEC-HMS pada tiap Sub-DAS. Parameter awal setiap Sub-DAS pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Gambar 8 merupakan hidrograf harian DAS Manna bulan Desember 2018 hasil simulasi. Hasil menunjukkan debit hasil simulasi menunjukkan pola yang hampir mirip dengan debit pengamatan, namun simpangan nilai debit simulasi terhadap debit pengamatan masih cukup besar. Pola hujan yang terjadi masih mengikuti pola fluktuasi debit pengamatan. Hal ini menunjukkan curah hujan akumulasi harian grid radar cuaca sangat baik menunjukkan pola fluktuasi debit harian di DAS Manna.

Setelah dilakukan kalibrasi mendapatkan nilai parameter-parameter baru seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. Diperoleh hidrograf yang baru seperti ditampilkan pada Gambar 9. Proses kalibrasi berhasil memperoleh nilai debit simulasi yang lebih mendekati nilai debit pengamatan. Pola debit simulasi setelah dikalibrasi juga semakin mendekati pola debit pengamatan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai estimasi debit sebelum dan sesudah dikalibrasi adalah parameter *storage coefficient* pada metode ModClark dan *initial discharge*, *recession constant*, *ratio to peak* pada metode *baseflow* atau aliran dasar.

Proses terakhir adalah melakukan validasi data debit hasil simulasi terhadap data debit pengamatan. Hasil uji validasi sebelum dilakukan kalibrasi diperoleh nilai RMSE sebesar 11.99 m<sup>3</sup>/detik dan korelasi (r) sebesar 0.95 (Gambar 10.a). Nilai RMSE ini dinilai masih terlalu besar untuk simulasi debit, mengingat aliran debit rata hanya sebesar 36.29. Setelah dilakukan kalibrasi terhadap semua parameter-parameter model yang dapat mempengaruhi perubahan hidrograf, diperoleh debit hasil simulasi lebih mendekati nilai observasi dengan RMSE sebesar 4.37 m<sup>3</sup>/detik dan korelasi (r) sebesar 0.95 (Gambar 10.b). Nilai maksimum debit pengamatan sebesar 91.7 M<sup>3</sup>/detik, yang terjadi pada tanggal 27 Desember 2018, sedangkan debit yang dihasilkan sebelum kalibrasi sebesar 73,5 M<sup>3</sup>/detik yang terjadi pada

tanggal 23 Desember 2018. Hasil debit simulasi setelah dikalibrasi sebesar 82.5 m<sup>3</sup>/detik yang terjadi pada tanggal 27 Desember 2018. Hal ini menunjukkan debit hasil setelah proses kalibrasi

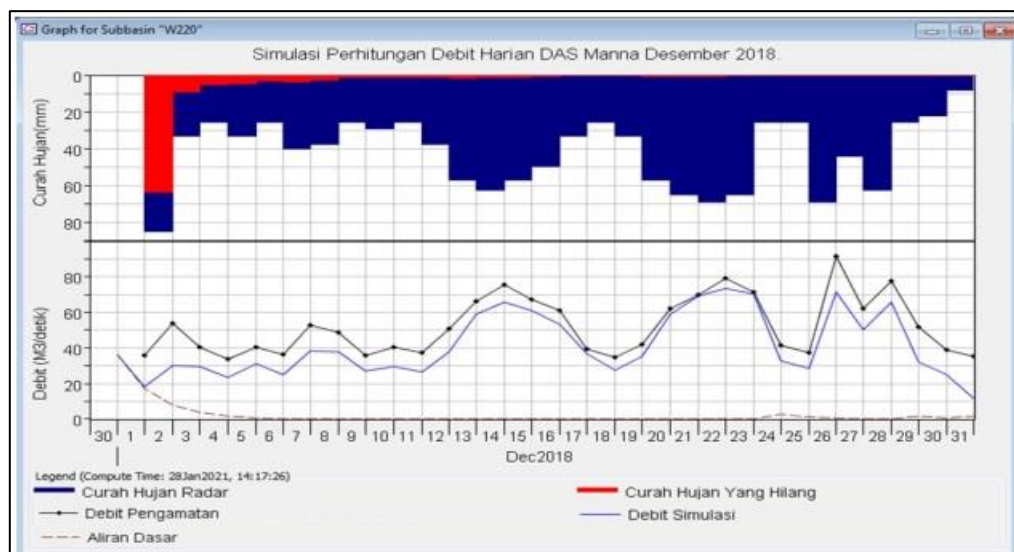
menunjukkan nilai puncak yang lebih mendekati pengamatan, baik dari segi kuantitas dan waktu kejadiannya.

**Tabel 3.** Parameter model HEC-HMS sebelum kalibrasi (sumber: data diolah)

No	Sub DAS	Initial Abstraction (mm)	Curve Number	Impervious %	Time of Concentration (Jam)	Storage Coefficient (Jam)	Initial Discharge (m <sup>3</sup> /detik)	Recession Constant	Ratio to Peak
1	W220	61.86	75.98	4.23	3.35	1.53	36.29	0.47	0.52
2	W210	60.60	77.44	0.54	1.18	3.16	36.29	0.47	0.52
3	W200	63.38	74.29	2.55	0.66	1.29	36.29	0.47	0.52
4	W190	62.89	74.83	1.77	1.07	0.08	36.29	0.47	0.52
5	W180	62.46	75.31	4.62	0.63	1.87	36.29	0.47	0.52
6	W170	62.30	75.48	3.13	0.5	0.22	36.29	0.47	0.52
7	W160	61.22	76.72	2.95	1.8	0.47	36.29	0.47	0.52
8	W150	62.48	75.29	5.89	0.24	0.85	36.29	0.47	0.52
9	W140	59.78	78.43	3.72	1.3	0.48	36.29	0.47	0.52
10	W130	61.18	76.76	4.11	1.4	0.93	36.29	0.47	0.52
11	W120	59.47	78.80	3.55	1.09	4.07	36.29	0.47	0.52

**Tabel 4.** Parameter masukan model HEC-HMS setelah kalibrasi (sumber: data diolah)

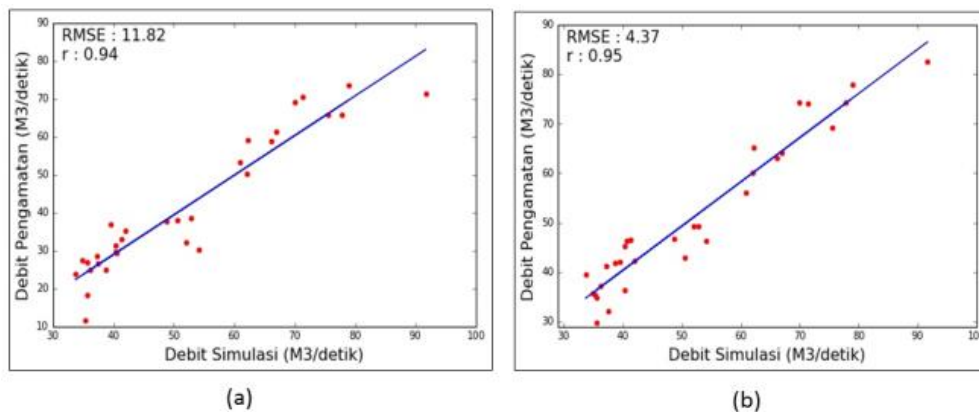
No	Sub DAS	Initial Abstraction (mm)	Curve Number	Impervious %	Time of Concentration (Jam)	Storage Coefficient (Jam)	Initial Discharge (m <sup>3</sup> /detik)	Recession Constant	Ratio to Peak
1	W220	61.86	75.98	4.23	3.35	0.11	33.74	0.85	0.64
2	W210	60.60	77.44	0.54	1.18	0.21	33.74	0.85	0.64
3	W200	63.38	74.29	2.55	0.66	0.13	33.74	0.85	0.64
4	W190	62.89	74.83	1.77	1.07	0.14	33.74	0.85	0.64
5	W180	62.46	75.31	4.62	0.63	0.15	33.74	0.85	0.64
6	W170	62.30	75.48	3.13	0.5	0.16	33.74	0.85	0.64
7	W160	61.22	76.72	2.95	1.8	0.11	33.74	0.85	0.64
8	W150	62.48	75.29	5.89	0.24	0.13	33.74	0.85	0.64
9	W140	59.78	78.43	3.72	1.3	0.11	33.74	0.85	0.64
10	W130	61.18	76.76	4.11	1.4	0.14	33.74	0.85	0.64
11	W120	59.47	78.80	3.55	1.09	0.12	33.74	0.85	0.64



**Gambar 8.** Debit hasil simulasi sebelum dikalibrasi. (sumber: data diolah)



**Gambar 9.** Debit hasil simulasi setelah dikalibrasi. (sumber: data diolah)



**Gambar 10.** Validasi debit sebelum (a) dan setelah kalibrasi (b). (sumber: data diolah)

#### 4. Kesimpulan

Perhitungan antara curah hujan pengamatan pada alat pos-pos hujan dan terhadap reflektivitas radar cuaca Bengkulu menghasilkan persamaan  $Z=2,65R^{1,3}$ . Curah

hujan estimasi radar cuaca Bengkulu dalam bentuk grid dapat digunakan untuk simulasi debit DAS Manna menggunakan model HEC-HMS. Hasil menunjukkan debit hasil simulasi menggunakan metode *Gridded SCS CN*, *ModClark*, *Recession* dan *Lag* menghasilkan nilai RMSE sebesar 11,99 m<sup>3</sup>/detik sebelum dikalibrasi, dan RMSE sebesar 4.37 m<sup>3</sup>/detik setelah dikalibrasi. Selain itu, curah hujan estimasi radar cuaca memiliki pola yang sama dengan fluktuasi debit harian DAS Manna.

#### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

Terutama Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG).

#### Daftar Pustaka

- [1] BPDAS Ketahun. (2012). Naskah Rencana Pengelolaan DAS Manna Buku II. Bengkulu.
- [2] B. Trisakti, K. Teguh, and Susanto. (2008). "Kajian Distribusi Spasial Debit Aliran Permukaan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Berbasis Data Satelit Penginderaan Jauh," *J. Penginderaan Jauh*, vol. 5, pp. 45–55.
- [3] B. C. Hoblit and D. C. Curtis. (2001) "Integrating Radar Rainfall Estimates with Digital Elevation Models and Land Use Data to Create an Accurate Hydrologic Model," in *Floodplain Management Association Spring 2001 Conference*, 2001, no. 1, pp. 1–9.
- [4] P. Gilewski and M. Nawalany. (2018) "Inter-Comparison of Rain-Gauge, Radar, and Satellite (IMERG GPM) Precipitation Estimates Performance for Rainfall-Runoff Modeling in a Mountainous Catchment in Poland," *Water*, vol. 10, pp. 1–23, doi: 10.3390/w10111665.
- [5] Munawar. (2016). "Pemodelan Spasiotemporal Prediksi Curah Hujan Ekstrem Berdasarkan Integrasi Data Radar Dan Satelit Cuaca Di Provinsi Jawa Timur," Universitas Gadjah Mada.
- [6] N. Joshi, A. Bista, I. Pokhrel, A. Kalra, and S. Ahmad.

- (2019). "Rainfall-Runoff Simulation in Cache River Basin, Illinois, Using HEC-HMS," in World Environmental and Water Resources Congress 2019, 2019, pp. 348–360.
- [7] K. Ibrahim-Bathis and S. A. Ahmed. (2016). "Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed—an application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed," *Arab. J. Geosci.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–16, doi: 10.1007/s12517-015-2228-2.
- [8] X. M. Song, F. Z. Kong, and Z. X. Zhu. (2016). "Application of Muskingum routing method with variable parameters in ungauged basin," *Water Sci. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, doi: 10.3882/j.issn.1674-2370.2011.01.001.
- [9] D. Halwatura and M. M. M. Najim. (2013). "Environmental Modelling & Software Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment," *Environ. Model. Softw.*, vol. 46, pp. 155–162, doi: 10.1016/j.envsoft.2013.03.006.
- [10] M. L. Anderson (2002). "Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff," *J. Hydrol. Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 312–318, doi:10.1061/ASCE1084-069920027:4312.
- [11] D. S. Permana, T. D. F. Hutapea, A. S. Praja, F. Fatkhuroyan, and L. F. Muzayanah. (2016). "Pengolahan Dan Pemulihan Data Radar Cuaca Menggunakan Wradlib Berbasis Python," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 17, no. 3, doi: 10.31172/jmg.v17i3.350.
- [12] USACE. US Army Corp of Engineers, Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, vol. 1, no. Agosto. 2016.
- [13] A. Wardhana. (2017). "Pendugaan debit aliran memanfaatkan radar cuaca dan model hidrologi di das ciliwung hulu (kasus stasiun katulampa) ali wardhana," Institut Pertanian Bogor.
- [14] NRCS USDA. (1986). National Resources Conservation Service United States Department of Agriculture, "Urban Hydrology for Small Watershed," no. Technical Release 55.
- [15] D. Blanchard. (1953). "Raindrop Size Distribution in Hawaiian Rain," *J. Meteorol.*, vol. 10, pp. 457–473,

## ANALISIS KARAKTERISTIK FISIK DAN METEOROLOGI DAS BENGKULU

### ANALYSIS OF PHYSICAL AND METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF BENGKULU WATERSHED

Gita Ivana Suci Lestari Faski <sup>1,3\*</sup>, Ignasius Loyola Setyawan Purnama <sup>2</sup>, Slamet Suprayogi <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Jalan Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Jalan Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281, Indonesia

<sup>3</sup>BMKG Stasiun Klimatologi Bengkulu, Jalan Ir. Rustandi Sugianto Pulau Baai, Bengkulu, 39172, Indonesia

\*E-mail: [gita.ugm2019@gmail.com](mailto:gita.ugm2019@gmail.com)

Naskah masuk: 29 Maret  
2021

Naskah diperbaiki: 15 Juli  
2021

Naskah diterima: 29 Juli 2021

#### ABSTRAK

DAS Bengkulu mengalami kejadian banjir setidaknya 2 kali dalam setahun pada musim hujan. Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan meteorologi DAS. Karakteristik fisik DAS merupakan dasar untuk melakukan perencanaan maupun pengelolaan di suatu DAS. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik dan karakteristik meteorologi DAS Bengkulu, sebagai dasar untuk melakukan perencanaan maupun pengelolaan DAS, sehingga dapat meminimalisir kejadian maupun dampak dari bencana hidrometeorologi di DAS tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif terhadap data karakteristik fisik dan meteorologi DAS Bengkulu. Karakteristik fisik DAS yang dianalisis yaitu morfometri, topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan di DAS Bengkulu. Sedangkan karakteristik meteorologi yang dianalisis yaitu curah hujan dan suhu udara di DAS Bengkulu. Hasil menunjukkan bahwa karakteristik fisik DAS Bengkulu mempunyai kemampuan menyimpan air yang rendah, sehingga infiltrasi kecil, namun laju limpasan kecil dan tipe pengaliran aliran sedang. Akan tetapi limpasan cenderung meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan hutan yang semakin berkurang, didukung oleh curah hujan yang semakin meningkat, dan variasi suhu udara yang kecil.

**Kata Kunci:** Karakteristik Fisik, Meteorologi, DAS Bengkulu.

#### ABSTRACT

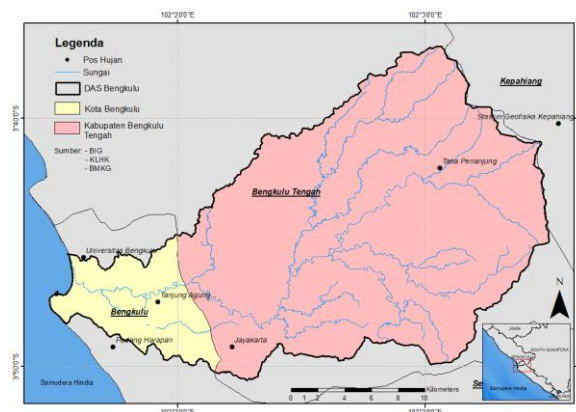
*Bengkulu watershed experiences flooding at least two times a year during the rainy season. The flood is one of the hydrometeorological disasters influenced by the physical and meteorological characteristics of the watershed. The characteristics are the basis for planning and management in the watershed. Therefore, this study aims to analyze the physical characteristics and meteorological characteristics of the Bengkulu watershed, as a basis for planning and managing the watershed, to minimize the incidence and impact of hydrometeorological disasters in the watershed. The method used in this research is a quantitative descriptive method of the physical and meteorological characteristics of the Bengkulu watershed. The physical characteristics of the watershed that were analyzed were morphometry, topography, soil type, and land use in the Bengkulu watershed. While the meteorological characteristics analyzed were rainfall and air temperature in the Bengkulu watershed. The results show that the physical characteristics of the Bengkulu watershed have a low capacity to store water, so that the infiltration is small, but the runoff rate is small and the flow type is moderate. However, runoff tends to increase. This is due to decreasing changes in forest land use, supported by increasing rainfall, and small variations in air temperature.*

**Keywords:** Physical Characteristic, Meteorology, Bengkulu Watershed.

## 1. Pendahuluan

Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu daratan dengan pemisah topografis sebagai batas di darat, dan perairan yang masih dipengaruhi aktivitas darat sebagai batas dengan laut, dimana sungai dan anak sungai menjadi satu-kesatuan dalam proses mengubah curah hujan menjadi aliran, yang secara alami akan diteruskan ke danau atau laut [1]. Banjir di DAS Bengkulu terjadi setidaknya 2 kali dalam setahun pada saat musim hujan [2]. Banjir merupakan bencana yang dipengaruhi oleh faktor hidrologi dan meteorologi di daerah tersebut. Faktor hidrologi di suatu DAS terkait dengan aliran di DAS tersebut yang dipengaruhi oleh karakteristik fisik DAS.

Karakteristik fisik DAS tersebut antara lain morfometri DAS, topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan [4–10]. Morfometri DAS mencakup antara lain luas, bentuk, serta kerapatan aliran sungai yang mempengaruhi infiltrasi, penyimpanan air, dan limpasan [3]. Topografi memiliki peranan penting dalam terjadinya proses infiltrasi, limpasan, dan erosi [7]. Jenis tanah juga memiliki peranan penting pada proses infiltrasi dan limpasan [10]. Penggunaan lahan merupakan hasil interaksi manusia dengan segala aktivitasnya terhadap lahan [11]. Perubahan penggunaan lahan menyebabkan terjadinya perubahan perilaku aliran, terkait infiltrasi, penguapan, limpasan, serta neraca air di DAS tersebut [10,13–16].



**Gambar 1.** Lokasi dan Pos Hujan Penelitian

Faktor meteorologi DAS antara lain curah hujan dan suhu udara, menjadi karakteristik meteorologi di DAS tersebut [7,17–22]. Curah hujan merupakan masukan air di suatu DAS yang menentukan aliran di suatu DAS [7]. Besar kecilnya jumlah curah hujan, serta tinggi rendahnya suhu udara di suatu DAS, keduanya dipengaruhi oleh topografi dan karakteristik fisik DAS lainnya di DAS tersebut [18,20]. Oleh karena itu, karakteristik fisik dan meteorologi di

suatu DAS saling mempengaruhi, sehingga karakteristik fisik DAS merupakan dasar untuk melakukan perencanaan maupun pengelolaan di suatu DAS [3]. Begitu pula dengan karakteristik meteorologi DAS tersebut. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik DAS dan karakteristik meteorologi di DAS Bengkulu, sebagai dasar untuk melakukan perencanaan maupun pengelolaan DAS, sehingga dapat meminimalisir kejadian maupun dampak dari bencana hidrometeorologi yang bisa saja terjadi.

## 2. Metode Penelitian

DAS Bengkulu sebagai lokasi penelitian merupakan DAS yang berada pada 2 kabupaten di Provinsi Bengkulu, yakni Kabupaten Bengkulu Tengah dan Kota Bengkulu. Secara geografis DAS Bengkulu berada pada koordinat  $102^{\circ}14'39'' - 102^{\circ}35'00''$  BT dan  $3^{\circ}37'6'' - 3^{\circ}50'33''$  LS, dengan luas sekitar 57.937 ha. Penelitian ini menggunakan data meteorologi berdasarkan 6 pos hujan yang ada di DAS Bengkulu, maupun sekitarnya. Lokasi penelitian berikut lokasi pos hujan ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini mencakup karakteristik fisik dan meteorologi DAS Bengkulu pada tahun 2009-2018. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peta administrasi dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Peta tersebut digunakan untuk mengetahui lokasi DAS Bengkulu.
2. Peta DAS Bengkulu dan peta jenis tanah skala 1:250.000 dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Hutan dan Lahan (BPDASHL) Ketahun Bengkulu (KLHK). Peta tersebut diolah menjadi data morfometri yaitu data luas, bentuk, dan kerapatan aliran sungai di DAS Bengkulu.
3. Peta *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM USGS (*Shuttle Radar Terrain Mission United State Geological Survey*) resolusi 30 m. Peta tersebut diolah menjadi data topografi yakni peta serta data ketinggian elevasi dan kemiringan lereng di DAS Bengkulu.
4. Peta jenis tanah skala 1:250.000 dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Hutan dan Lahan (BPDASHL) Ketahun Bengkulu – KLHK. Peta tersebut digunakan untuk mengetahui jenis tanah di DAS Bengkulu.
5. Peta penutupan lahan skala 1:250.000 tahun 2009 dan 2018 dari Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Jakarta (KLHK). Peta tersebut diolah menjadi data penggunaan lahan di DAS Bengkulu.
6. Data curah hujan dan suhu udara bulanan di DAS Bengkulu tahun 2009-2018 dari Stasiun Klimatologi Bengkulu (BMKG). Peta tersebut

digunakan untuk mengetahui karakteristik meteorologi DAS Bengkulu.

Alat penelitian yang digunakan adalah perangkat lunak Microsoft Word, perangkat lunak Microsoft Excel, dan perangkat lunak ArcGIS 10.5. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif terhadap data karakteristik fisik dan meteorologi DAS Bengkulu. Karakteristik fisik DAS yang digunakan pada penelitian ini, antara lain morfometri DAS, topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan. Sedangkan karakteristik meteorologi yang digunakan, antara lain curah hujan dan suhu udara.

**Morfometri.** Morfometri diukur menggunakan peta DAS Bengkulu dan sungai yang ada di dalamnya, yang kemudian diolah menggunakan ArcGIS 10.5, sehingga memperoleh hasil luas, bentuk, dan kerapatan aliran DAS Bengkulu. Luas DAS dapat diklasifikasikan berdasarkan Peraturan Dirjen BPDASPS Nomor P.3/V-SET/2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai seperti pada Tabel 1 [16,22].

**Tabel 1.** Klasifikasi Luas DAS (sumber: KLHK, 2013)

No.	Luas DAS (Ha)	Klasifikasi DAS
1	1.500.000 ke atas	DAS sangat besar
2	500.000 - < 1.500.000	DAS besar
3	100.000 - < 500.000	DAS sedang
4	10.000 - < 100.000	DAS kecil
5	Kurang dari 10.000	DAS sangat kecil

Bentuk DAS Bengkulu dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Rc = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (1)$$

dimana  $Rc$  adalah *Circularity Ratio*,  $A$  adalah luas DAS ( $m^2$ ),  $p$  adalah keliling DAS (m).

Sedangkan kerapatan aliran sungai DAS Bengkulu dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (2)$$

dimana  $Dd$  adalah indeks kerapatan aliran sungai ( $m/m^2$ ),  $A$  adalah luas DAS ( $m^2$ ), dan  $L$  adalah panjang sungai total (m).

**Topografi.** Data topografi diperoleh dengan cara mengolah peta DEM SRTM USGS resolusi 30 m menggunakan ArcGIS 10.5. Topografi dapat digambarkan oleh kontur ketinggian maupun kemiringan lereng. Kemiringan lereng dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelas

berdasarkan Permenhut Nomor P.32/Menhut-II/2009, yaitu 0-8% (landai), 8-15% (bergelombang), 15-25% (berbukit), 25-40% (curam), > 40% (sangat curam) [9].

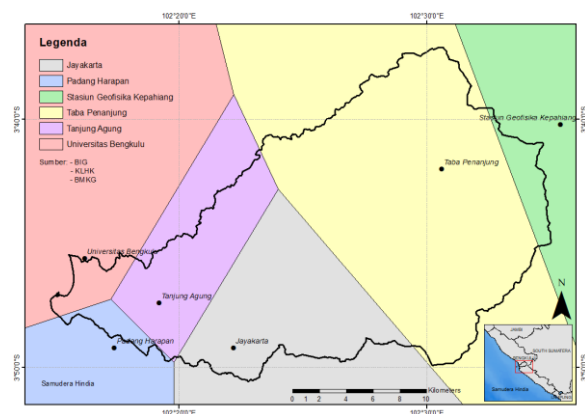
**Jenis Tanah.** Data jenis tanah diperoleh dengan cara mengolah peta jenis tanah dari BPDASHL Ketahun Bengkulu menggunakan ArcGIS 10.5. Data jenis tanah tersebut menggunakan sistem USDA (*United States Department Agriculture*) dengan nama Sistem Taksonomi Tanah.

**Penggunaan Lahan.** Data penggunaan lahan diperoleh dengan cara mengolah peta penutupan lahan dari Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Jakarta menggunakan ArcGIS 10.5, ditambah referensi dari literatur. Peta penutupan lahan tersebut menggunakan standar SNI 7645:2010. Dimana penutup lahan yang telah mengalami suatu bentuk pemanfaatan maupun fungsi dari perwujudan suatu bentuk penutup lahan yang merupakan campur tangan manusia, disebut juga dengan penggunaan lahan.

**Curah Hujan.** Data curah hujan bulanan yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Bengkulu, diolah menggunakan ArcGIS 10.5, menjadi data curah hujan wilayah tahunan (2009-2018) DAS Bengkulu. Data tersebut dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen berdasarkan 6 titik pos hujan yang ada di DAS Bengkulu dan sekitarnya (Gambar 2 dan Tabel 2). Persamaan Poligon Thiessen adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3)$$

dimana  $P$  adalah curah hujan wilayah (mm),  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_n$  adalah luas daerah yang mewakili titik pos hujan ( $m^2$ ), dan  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_n$  adalah curah hujan di titik pos hujan (mm). Curah hujan dapat dikategorikan berdasarkan kategori curah hujan bulanan menurut BMKG (Tabel 3) dan tahunan menurut KLHK (Tabel 4).



**Gambar 2.** Poligon Thiessen Pos Hujan DAS Bengkulu.

**Tabel 2.** Lokasi Pos Hujan

KOTA / KABUPATEN	POS HUJAN	LINTANG	BUJUR	ELEVASI
Kota Bengkulu	Universitas Bengkulu	-3°45'36"	102°16'12"	29 m
	Tanjung Agung	-3°47'32"	102°19'13"	20 m
	Padang Harapan	-3°49'18"	102°17'11"	30 m
Kabupaten Bengkulu Tengah	Jayakarta	-3°49'12"	102°22'12"	39 m
	Taba Penanjung	-3°42'00"	102°30'36"	149 m
Kabupaten Kepahiang	Stasiun Geofisika Kepahiang	-3°40'11"	102°35'20"	517 m

**Tabel 3.** Kategori Curah Hujan Bulanan  
(sumber: BMKG, 2020)

Curah Hujan (mm/bln)	Kategori
0 - 100	Rendah
100 - 300	Menengah
300 - 500	Tinggi
> 500	Sangat Tinggi

**Tabel 4.** Kategori Curah Hujan Tahunan  
(sumber: KLHK 2013 dalam Ningkeula, 2015)

Curah Hujan (mm/thn)	Kategori
< 1500	Sangat Rendah
1500 - < 2000	Rendah
2000 - < 2500	Sedang
2500 - < 3000	Tinggi
≥ 3000	Sangat Tinggi

**Suhu Udara.** Suhu udara yang digunakan adalah suhu udara wilayah tahunan (2009-2018) hasil olahan menggunakan Metode Mock. Suhu udara bulanan dari Stasiun Klimatologi Bengkulu sebagai suhu udara acuan dan elevasi stasiun tersebut sebagai elevasi acuan, serta elevasi median DAS Bengkulu sebagai elevasi suhu udara wilayah yang dicari, dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = T_0 - 0,006(Z - Z_0) \quad (4)$$

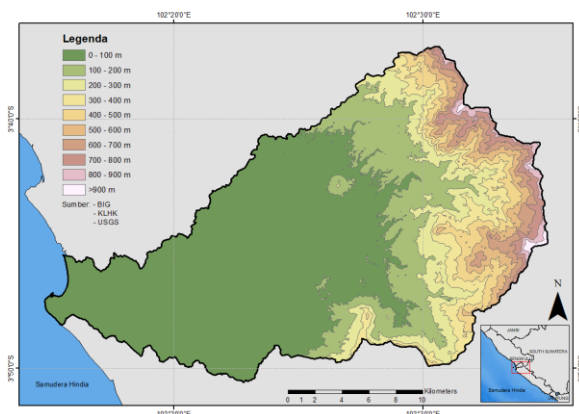
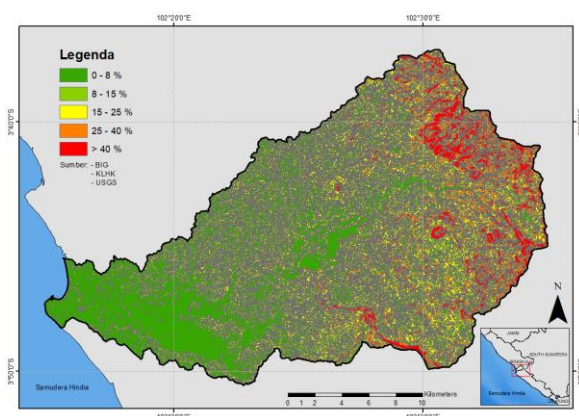
dimana  $T_0$  adalah suhu udara acuan ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T$  adalah suhu udara yang dicari ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $Z_0$  adalah elevasi acuan (m), dan  $Z$  adalah elevasi pada lokasi  $T$  (m).

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Morfometri.** Berdasarkan Peraturan Dirjen BPDSASPS Nomor P.3/V-SET/2013, DAS Bengkulu termasuk ke dalam kategori DAS kecil, karena memiliki luas sekitar 500.498.301  $\text{m}^2$ , atau sekitar 50.049,83 ha. DAS Bengkulu memiliki keliling DAS sebesar 127.697 m, sehingga nilai  $R_c$  DAS Bengkulu adalah 0,39. Penelitian lain [24] menyatakan jika nilai  $R_c$  semakin mendekati 0, maka DAS tersebut termasuk ke dalam kategori DAS berbentuk memanjang. Oleh karena itu, DAS Bengkulu merupakan DAS berbentuk memanjang. Bentuk DAS memanjang memiliki waktu terpusatnya aliran menjadi limpasan lebih lama [3,10]. DAS Bengkulu memiliki nilai kerapatan aliran ( $Dd$ )

sebesar 0,00057  $\text{m}/\text{m}^2$ , dimana menurut [3], DAS dengan nilai  $Dd < 0,25 \text{ m}/\text{m}^2$  memiliki kemampuan dalam menyimpan air yang rendah.

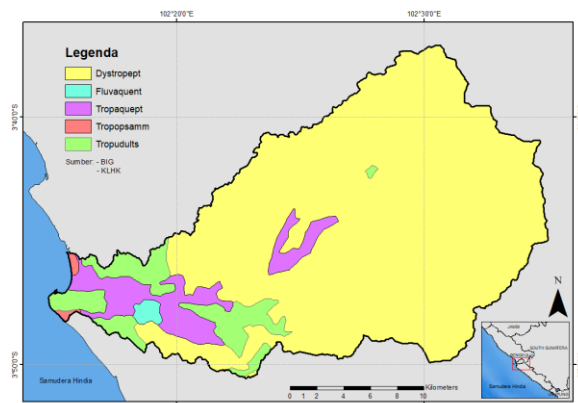
**Topografi.** DAS Bengkulu memiliki ketinggian elevasi dari 0 – 1.025 m dari permukaan laut (Gambar 3), dengan elevasi median pada ketinggian 91 m. Kemiringan lereng di DAS Bengkulu didominasi oleh kemiringan lereng 0-8 % (landai), seluas 30,23% dari luas DAS Bengkulu (Gambar 4 dan Tabel 5). Namun di bagian hulu DAS, kemiringan lereng curam hingga sangat curam. Semakin curam kemiringan lereng, maka kandungan air tersedia akan semakin berkurang, karena peresapan air ke dalam tanah semakin kecil [6,25].

**Gambar 3.** Elevasi DAS Bengkulu**Gambar 4.** Kemiringan Lereng DAS Bengkulu.

**Tabel 5.** Persentase Luas Kemiringan Lereng DAS Bengkulu

Kelas	Kelas Kemiringan Lereng (%)	Luas (m <sup>2</sup> )	Persentase Luas (%)
0 - 8%	Landai	151.261.557	30,23
8 - 15 %	Bergelombang	132.566.187	26,49
15 - 25 %	Berbukit	119.348.555	23,85
25 - 40 %	Curam	67.902.024	13,57
> 40 %	Sangat Curam	29.346.642	5,86

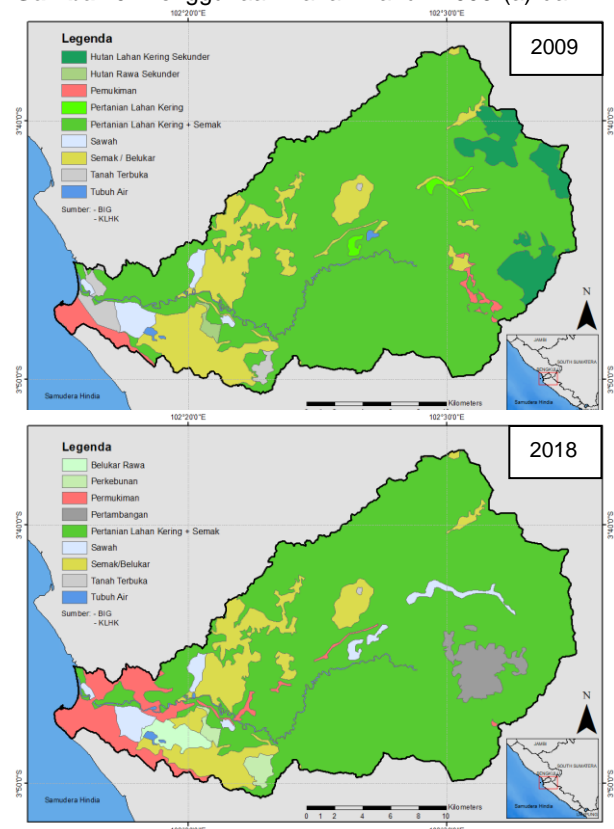
**Jenis Tanah.** Terdapat 6 jenis tanah di DAS Bengkulu, yaitu *Dystropept*, *Fluvaquent*, *Tropaquept*, *Tropopsamm*, dan *Tropudults*. Jenis tanah yang paling mendominasi di DAS Bengkulu adalah jenis tanah *Dystropept*, sebesar 83,85% (Gambar 5 dan Tabel 6). *Dystropept* merupakan jenis tanah yang mulai berkembang di daerah tropis dengan kejenuhan basa rendah. *Fluvaquent* merupakan tanah yang baru saja terbentuk, bersifat jenuh air, serta pada umumnya berada di daerah endapan sungai dan dataran banjir. *Tropaquept* merupakan jenis tanah yang mulai berkembang di daerah tropis dan bersifat jenuh air. *Tropopsamm* merupakan tanah yang baru saja terbentuk di daerah tropis dan biasanya bertekstur pasir. *Tropudults* merupakan jenis tanah yang paling lapuk, menunjukkan efek akhir pencucian, serta berada di daerah tropis dan lembab. Menurut [26], jenis tanah *Dystropept* memiliki tekstur lempung berdebu dan bertipe pengaliran sedang.

**Gambar 5.** Jenis Tanah DAS Bengkulu**Tabel 6.** Persentase Luas Jenis Tanah DAS Bengkulu

Jenis Tanah	Luas (m <sup>2</sup> )	Persentase Luas (%)
<i>Dystropept</i>	419.653.314	83,85
<i>Fluvaquent</i>	3.153.256	0,63
<i>Tropaquept</i>	36.766.848	7,35
<i>Tropopsamm</i>	1.673.250	0,33
<i>Tropudults</i>	39.251.634	7,84

**Penggunaan Lahan.** Penggunaan lahan di DAS Bengkulu pada tahun 2009 dan 2018 terdiri dari belukar rawa, hutan lahan kering sekunder, hutan rawa sekunder, pemukiman, perkebunan,

pertambangan, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering bercampur semak, sawah, semak belukar, tanah terbuka, dan tubuh air (Gambar 6 dan Tabel 7). Penggunaan lahan yang paling mendominasi, baik pada tahun 2009, maupun tahun 2018, adalah pertanian lahan kering bercampur semak. Hilangnya hutan lahan kering sekunder, hutan rawa sekunder, dan pertanian lahan kering, ditambah munculnya area pertambangan yang cukup luas, dapat menyebabkan kemampuan tanah dalam menyimpan air di DAS Bengkulu cenderung berkurang.

(a)  
(b)**Gambar 6.** Penggunaan Lahan Tahun 2009 (a) dan

2018 (b) DAS Bengkulu

**Curah Hujan.** Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan wilayah menggunakan luas poligon Thiessen (Tabel 8), curah hujan wilayah bulanan DAS Bengkulu tahun 2009-2018 cenderung meningkat (Gambar 7). Rata-rata curah hujan wilayah bulanan berkisar antara 197 – 484 mm (Tabel 9), dan pada umumnya termasuk kategori

tinggi. Sedangkan curah hujan tahunan berkisar antara 2.977 – 4.378 mm, dan hampir setiap tahun termasuk kategori sangat tinggi. Curah hujan yang tinggi di DAS Bengkulu dapat memicu banjir di Kota Bengkulu [27]. Menurut [28], curah hujan di wilayah Sumatera, termasuk DAS Bengkulu di dalamnya, dipengaruhi oleh siklus konveksi diurnal yang kuat, yang berkembang pada wilayah dengan topografi curam hingga sangat curam, dan dipengaruhi oleh gangguan ekuatorial dalam skala besar. Informasi dasar mengenai curah hujan sangat dibutuhkan untuk memprediksi kejadian ekstrim, seperti banjir dan kekeringan, serta kuantitas dan kualitas air [29].

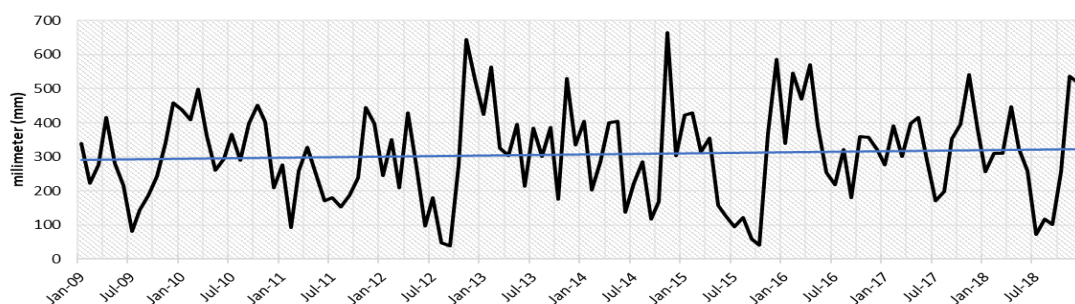
**Suhu Udara.** Suhu udara wilayah bulanan DAS Bengkulu tahun 2009-2018 cenderung meningkat (Gambar 8). Rata-rata suhu udara wilayah bulanan di DAS Bengkulu tahun 2009-2018, berkisar antara 26,0 – 26,9 °C. Sedangkan rata-rata suhu udara wilayah tahunan berkisar antara 26,1 – 26,6 °C (Tabel 10). Variasi suhu udara wilayah baik bulanan maupun tahunan di DAS Bengkulu cukup kecil, berkisar antara 25,5 – 27,3 °C. Peningkatan suhu udara di beberapa wilayah yang kemudian mempengaruhi vegetasi, dapat meningkatkan jumlah limpasan, namun di beberapa wilayah lain sebaliknya [30].

**Tabel 7.** Persentase Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2009-2018 DAS Bengkulu

Kelas Penutupan Lahan	Luas Tahun 2009 (m <sup>2</sup> )	Luas Tahun 2018 (m <sup>2</sup> )	Persentase Perubahan (%)
Belukar Rawa	0	6.192.773	100,00
Hutan Lahan Kering Sekunder	27.789.974	0	-100,00
Hutan Rawa Sekunder	1.725.037	0	-100,00
Pemukiman	9.106.635	27.050.033	197,04
Perkebunan	0	5.086.281	100,00
Pertambangan	0	14.924.416	100,00
Pertanian Lahan Kering	2.983.272	0	-100,00
Pertanian Lahan Kering + Semak	376.368.394	380.305.381	1,05
Sawah	8.354.258	12.957.540	55,10
Semak / Belukar	62.566.587	50.524.482	-19,25
Tanah Terbuka	7.960.437	169.009	-97,88
Tubuh Air	3.481.621	3.144.615	-9,68

**Tabel 8.** Persentase Luas Poligon Thiessen DAS Bengkulu

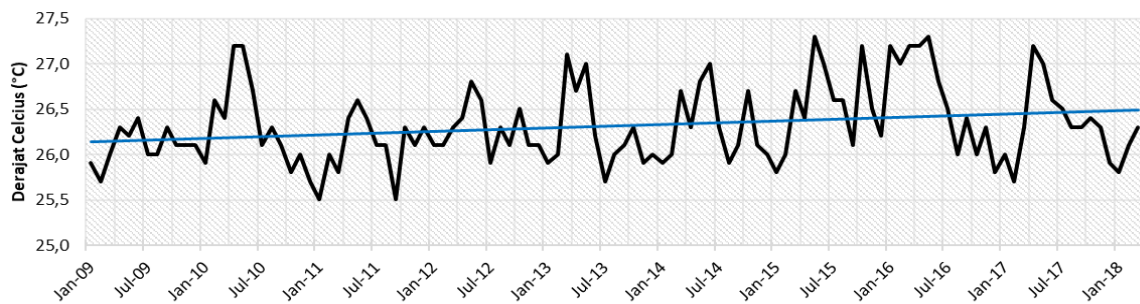
Pos Hujan	Luas Poligon Thiessen (m <sup>2</sup> )	Persentase Luas (%)
Universitas Bengkulu	14.468.520	2,98
Tanjung Agung	70.554.667	14,52
Jayakarta	115.940.901	23,85
Taba Penanjung	273.464.850	56,27
Stasiun Geofisika Kepahiang	16.181.082	3,33
Padang Harapan	9.888.280	2,03



**Gambar 7.** Curah Hujan Wilayah Bulanan Tahun 2009-2018 DAS Bengkulu.  
(sumber: data diolah)

**Tabel 9.** Curah Hujan Wilayah (mm) Tahun 2009-2018 DAS Bengkulu.  
(sumber: data diolah)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Total
2009	340	222	276	416	280	216	82	145	188	242	341	459	3206
2010	438	410	499	362	260	293	367	289	398	451	402	209	4378
2011	277	93	258	328	250	172	180	154	186	238	446	397	2977
2012	246	352	208	430	269	97	180	48	40	277	645	527	3319
2013	424	565	325	304	395	213	385	302	387	176	530	334	4340
2014	403	203	285	401	404	138	222	286	116	170	665	304	3597
2015	422	430	315	356	157	126	96	122	59	42	369	585	3078
2016	340	545	470	571	392	255	218	321	181	360	358	321	4331
2017	276	391	301	398	415	291	172	199	354	396	542	380	4114
2018	256	311	311	447	324	258	72	117	102	256	538	517	3509
Rata-rata	342	352	325	401	315	206	197	198	201	261	484	403	3685



**Gambar 8.** Suhu Udara Wilayah Bulanan Tahun 2009-2018 DAS Bengkulu  
(sumber: data diolah)

**Tabel 10.** Suhu Udara Wilayah (°C) Tahun 2009-2018 DAS Bengkulu  
(sumber: data diolah)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Rata-rata
2009	25,9	25,7	26,0	26,3	26,2	26,4	26,0	26,0	26,3	26,1	26,1	26,1	26,1
2010	25,9	26,6	26,4	27,2	27,2	26,7	26,1	26,3	26,1	25,8	26,0	25,7	26,3
2011	25,5	26,0	25,8	26,4	26,6	26,4	26,1	26,1	25,5	26,3	26,1	26,3	26,1
2012	26,1	26,1	26,3	26,4	26,8	26,6	25,9	26,3	26,1	26,5	26,1	26,1	26,3
2013	25,9	26,0	27,1	26,7	27,0	26,2	25,7	26,0	26,1	26,3	25,9	26,0	26,2
2014	25,9	26,0	26,7	26,3	26,8	27,0	26,3	25,9	26,1	26,7	26,1	26,0	26,3
2015	25,8	26,0	26,7	26,4	27,3	27,0	26,6	26,6	26,1	27,2	26,5	26,2	26,5
2016	27,2	27,0	27,2	27,2	27,3	26,8	26,5	26,0	26,4	26,0	26,3	25,8	26,6
2017	26,0	25,7	26,3	27,2	27,0	26,6	26,5	26,3	26,3	26,4	26,3	25,9	26,4
2018	25,8	26,1	26,3	26,8	27,2	26,7	26,3	26,0	26,3	26,6	26,1	26,0	26,4
Rata-rata	26,0	26,1	26,5	26,7	26,9	26,6	26,2	26,2	26,1	26,4	26,2	26,0	26,3

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis karakteristik fisik dan meteorologi DAS tersebut, dapat disimpulkan bahwa DAS Bengkulu memiliki karakteristik fisik DAS yang memiliki kemampuan menyimpan air yang rendah, sehingga infiltrasi kecil. Namun karena DAS Bengkulu termasuk ke dalam kategori bentuk DAS memanjang dan didominasi jenis tanah *Dystropept*, menyebabkan tipe pengaliran DAS Bengkulu termasuk kategori sedang dan laju limpasan kecil. Akan tetapi terjadinya perubahan penggunaan lahan yang menyebabkan luasan hutan berkurang, dapat menyebabkan limpasan meningkat. Hal tersebut juga didukung oleh karakteristik meteorologi di DAS Bengkulu, yakni

curah hujan yang tinggi dan variasi suhu udara yang kecil. Oleh karena itu, pada perencanaan dan pengelolaan DAS Bengkulu, tidak hanya perlu memperhatikan karakteristik fisik DAS, tetapi juga karakteristik meteorologi DAS.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada UGM, BMKG, dan pihak lainnya yang telah berkontribusi terhadap kelengkapan data pada penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Republik Indonesia. (2012). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012

- Tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Indonesia.
- [2] Gunawan, G. (2017). Analisis Data Hidrologi Sungai Air Bengkulu Menggunakan Metode Statistik. *Inersia*, 9(1), 47–58.
  - [3] Antoko, B. S., & Sukmana, A. (2007). Karakteristik Fisik Sub Daerah Aliran Sungai Batang Gadis, Mandailing Natal, Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 4(5), 485–497. <https://doi.org/10.20886/jphka.2007.4.5.485-497>
  - [4] Fakhruddin, M., Wibowo, H., Ridwansyah, I., Daruati, D., Setiawan, F., & Sutrisno, N. (2013). Karakteristik Fisik DAS Cimanuk Sebagai Dasar Konservasi Waduk Jatigede. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI*, 353–363.
  - [5] Indarto, Widodo, S., & Subakti, A. P. (2013). Karakteristik Fisik dan Kurva Durasi Aliran pada 15 DAS di Jawa Timur. *AGRITeCH*, 33(4), 469–476.
  - [6] Narbondo, S., Gorgoglione, A., Crisci, M., & Chreties, C. (2020). Enhancing Physical Similarity Approach to Predict Runoff in Ungauged Watersheds in Sub-Tropical Region. *Water*, 12(528), 1–21.
  - [7] Ningkeula, E. S. (2015). Analisis Karakteristik Meteorologi dan Morfologi DAS Wai Samal Kecamatan Seram Utara Timur Kobi Kabupaten Maluku Tengah. *Jurnal Ilmiah Agribisnis Dan Perikanan (Agrikan UMMU-Ternate)*, 8(2), 81–91.
  - [8] Sudarmanto, A., Buchori, I., & Sudarno. (2013). Analisis Kemampuan Infiltrasi Lahan Berdasarkan Kondisi Hidrometeorologis dan Karakteristik Fisik DAS Pada Sub DAS Kreo Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan 2013*, 175–182. <http://eprints.undip.ac.id/40664/>
  - [9] Syahidan, T. T. (2016). *Analisis Spasial Neraca Air Menggunakan Model Hidrologi SWAT Dan Thornthwaite di Sub-DAS Betara Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi*. Institut Pertanian Bogor (IPB).
  - [10] Somantri, Y. G. (2014). *Analisis Kapasitas Sungai dalam Mengendalikan Banjir dengan Integrasi antara Metode Rasional dengan Program WIN-TR*. Universitas Bengkulu.
  - [11] Dewi, H. N. (2015). *Neraca Air Secara Hidrometeorologis di Sub DAS Kodil DAS Bogowonto*. Universitas Gadjah Mada.
  - [12] Hartanto, P. (2017). Perhitungan Neraca Air DAS Cidanau Menggunakan Metode Thornthwaite. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 27(2), 213–225. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2017.v27.443>
  - [13] Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017). Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance. *Ecological Engineering*, 105, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.061>
  - [14] Purnama, I. L. S., Trijuni, S., Hanafi, F., Aulia, T., & Razali, R. (2012). *Analisis Neraca Air di DAS Kupang dan Sengkarang* (N. Rahmawati (ed.); 1st ed.). MPPDAS Fakultas Geografi UGM.
  - [15] Rana, V. K., & Suryanarayana, T. M. V. (2020). GIS-based Multi Criteria Decision Making Method to Identify Potential Runoff Storage Zones within Watershed. *Annals of GIS*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1733083>
  - [16] Dianitasari, R., & Purnama, S. (2017). Analisis Neraca Air Hidrometeorologis dengan Pendekatan Karakteristik Fisik DAS di DAS Gondang, Kabupaten Nganjuk, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(1).
  - [17] Ketema, A., & Siddaramaiah, D. G. (2020). Trend and Variability of Hydrometeorological Variables of Tikur Wuha Watershed in Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(142), 1–20.
  - [18] Maftai, C., Buta, C., Draghici, G., & Filip, C. (2019). Analysis of changes in hydrometeorological variables of Techirghiol Lake. *The 5th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2019)*, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/344/1/012025>
  - [19] Ramirez, B. H., Teuling, A. J., Ganzeveld, L., Hegger, Z., & Leemans, R. (2017). Tropical Montane Cloud Forests: Hydrometeorological Variability in Three Neighbouring Catchments with Different Forest Cover. *Journal of Hydrology*, 552, 151–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.023>
  - [20] Rao, K. H. V. D., Rao, V. V., & Dadhwal, V. K. (2014). Improvement to the Thornthwaite Method to Study the Runoff at a Basin Scale Using Temporal Remote Sensing Data. *Water Resources Management*, 28(6), 1567–1578. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0564-8>.
  - [21] Sumargo, E., Wilson, A. M., Ralph, F. M., Weihs, R., White, A., Jasperse, J., Asgari-Lamjiri, M., Turnbull, S., Downer, C., & Monache, L. D. (2020). The Hydrometeorological Observation Network in California's Russian River Watershed: Development, Characteristics and Key Findings from 1997 to 2019. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1–59. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0253.1>
  - [22] Nifen, S. Y., Kironoto, B. A., & Luknanto, D. (2017). Kajian Karakteristik DAS untuk Daerah Tangkapan Hujan Waduk Sermo Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 15(1), 56–62. <https://doi.org/10.22219/jmts.v15i1.4415>
  - [23] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). (2020). *Analisis Hujan Agustus 2020 dan Prakiraan Hujan Oktober, November, dan Desember 2020* (September, Issue 9). Pusat Informasi Perubahan Iklim Kedepujian Bidang Klimatologi BMKG.
  - [24] Vienastra, S. (2018). Geomorfologi dan Morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS) Tinalah di Kabupaten Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknolgi Technoscintia*, 11(1), 21–28.
  - [25] Karima, A. (2017). *Evaluasi Pengelolaan DAS Cipunten Agung Berbasis Perubahan Penutupan Penggunaan Lahan dan Status Sumber Daya Air* [Institut Pertanian Bogor]. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
  - [26] Hamdan, Darmadi, A., Calista, I., Bahagia, & Suardi. (2013). *Peta Pewilayahan Komoditas Pertanian Kabupaten Bengkulu Tengah Skala 1:50.000*.
  - [27] Mase, L. Z. (2020). Slope Stability and Erosion-Sedimentation Analyses Along Sub-watershed of Muara Bangkahulu River in Bengkulu City, Indonesia. *E3S Web of Conferences*.
  - [28] Baranowski, D. B., Flatau, M. K., Flatau, P. J., Karnawati, D., Barabasz, K., Labuz, M., Latos, B., Schmidt, J. M., Paski, J. A. I., & Marzuki. (2020). Social-media and Newspaper Reports Reveal Large-scale Meteorological Drivers of Floods on Sumatra. *Nature Communications*, 11(2503), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16171-2>
  - [29] Masoud, M. H. (2016). Geoinformatics Application for Assessing the Morphometric Characteristics' Effect on Hydrological Response at Watershed (Case Study of Wadi Qanunah, Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences*, 9(280). <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2300-y>
  - [30] Kaushal, S. S., Gold, A. J., & Mayer, P. M. (2017). Land Use, Climate, and Water Resources-Global Stages of Interaction. *Water (Switzerland)*, 9, 815. <https://doi.org/10.3390/w9100815>.

## PEMODELAN PERUBAHAN BANJIR DI PAMENANG BARAT MENGUNAKAN HECRAS

### FLOOD CHANGES MODELLING IN PAMENANG BARAT USING HECRAS

**Bastian Andarino<sup>1\*</sup>, Emilya Nurjani<sup>2</sup>, M. Pramono Hadi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Stasiun Klimatologi Kelas IV Muaro Jambi

<sup>2,3</sup>Universitas Gadjah Mada

\*E-mail: [bastian.andarino@gmail.com](mailto:bastian.andarino@gmail.com)

Naskah masuk: 29 Maret  
2021

Naskah diperbaiki: 15 Juli  
2021

Naskah diterima: 29 Juli 2021

#### ABSTRAK

Banjir merupakan salah satu bencana hidrologi yang sering terjadi di provinsi Jambi. Dampak yang diakibatkan oleh bencana banjir dapat mempengaruhi berbagai sektor serta menyebabkan kerugian baik materil hingga korban jiwa. Selama periode 2010 hingga 2019 telah terjadi banjir sebanyak 149 dengan daerah yang paling banyak mengalami yaitu kecamatan Pamenang Barat. Kecamatan Pamenang Barat berada pada aliran Daerah Aliran Sungai (DAS) Batanghari tepatnya pada sub-DAS Batang Merangin Tembesi. Analisis resiko banjir dapat dilakukan dengan cara pemodelan. Salah satu aplikasi yang dapat digunakan yaitu HECRAS dengan inputan data debit serta DEMNAS. Keluaran dari aplikasi ini salah satunya yaitu luas banjir. Luas banjir yang didapatkan dapat digunakan untuk mengetahui dampaknya terhadap fisik suatu wilayah, yaitu dengan cara meng-*overlay* dengan data peta administrasi. Selain pemodelan banjir, analisis tren curah hujan harian, curah hujan bulanan serta hari hujan juga dilakukan untuk mengetahui perubahan curah hujan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perubahan tren curah hujan harian, curah hujan bulanan serta hari hujan untuk lima pos hujan di sekitar kecamatan Pamenang Barat. Selain itu curah hujan harian juga berhubungan dengan debit maksimum sungai. Peningkatan debit maksimum sungai juga mengakibatkan peningkatan luas banjir yang juga membuat dampak yang dihasilkan semakin luas.

**Kata kunci:** banjir, perubahan hujan, pemodelan HECRAS.

#### ABSTRACT

*Flood is one of the most frequent hydrological disasters in Jambi province. The impact caused by the flood disaster can affect various sectors and cause material losses to fatalities. During the period 2010 to 2019 there have been 149 floods with the area experiencing the most damage, namely the West Pamenang sub-district. West Pamenang District is located in the Batanghari Watershed (DAS) precisely in the Batang Merangin Tembesi sub-watershed. Flood risk analysis can be done by modelling. One application that can be used is HECRAS with debit data input and DEMNAS. One of the outputs of this application is the flood area. The flood area obtained can be used to determine the impact on the physical area of an area, namely by overlaying it with administrative map data. In addition to flood modelling, analysis of daily rainfall trends, monthly rainfall and rainy days is also carried out to determine rainfall changes. The results of the analysis show that there are changes in the trend of daily rainfall, monthly rainfall and rainy days for five rain posts around the West Pamenang sub-district. In addition, daily rainfall is also related to the maximum river discharge. The increase in the maximum river discharge also results in an increase in the flood area which also makes the resulting impact wider.*

**Keywords:** flood, rainfall changes, HECRAS modelling.

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim mempengaruhi hampir seluruh sektor kehidupan manusia dan berdampak terhadap kelangsungan hidup alam dan manusia. Salah satu parameter cuaca yang berubah karena perubahan iklim yaitu curah hujan, baik dari segi banyaknya hujan maupun lamanya hujan. Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu bagian sektor sumber daya air yang juga terdampak oleh adanya perubahan iklim. Dampak perubahan yang telah terjadi dan mempengaruhi sumber daya air antara lain terjadinya perubahan siklus air, serta kejadian iklim ekstrim berupa banjir dan kekeringan [1].

Faktor-faktor yang menjadi penyebab banjir di kota-kota besar di Indonesia yaitu intensitas curah hujan yang tinggi, sehingga menyebabkan aliran permukaan (*surface runoff*) meningkat melebihi daya tampung sungai. Faktor lain yaitu adanya sedimentasi pada dasar sungai yang mengakibatkan pendangkalan sungai, hal ini akan menurunkan kapasitas tampung sungai. Faktor lingkungan yang mencakup DAS juga berpengaruh, dimana DAS tidak mampu lagi menampung volume aliran air yang berada di atas permukaan tanah yang melebihi kapasitas tampung sungai yang melewati kota-kota besar yang padat penduduk [2]. Salah satu permasalahan yang terjadi pada sebuah DAS terkait dengan kuantitas air, dimana DAS tidak dapat mempertahankan air pada musim kemarau sehingga terjadi kekeringan [3], maupun ketidakmampuan DAS dalam menampung air pada musim hujan sehingga terjadi banjir [4]. Hal ini dikarenakan seluruh air pada musim penghujan dengan cepat mengalir ke hilir karena aliran permukaan tinggi, sehingga simpanan air di hulu menjadi sangat berkurang [5].

Bencana banjir merupakan bencana yang hampir setiap tahun terjadi di provinsi Jambi. Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (2010 – 2019) telah terjadi banjir di provinsi Jambi sebanyak 149 kejadian banjir di kabupaten dan kota di provinsi Jambi. Wilayah yang paling sering terjadi kejadian banjir yaitu kabupaten Merangin, khususnya kecamatan Pamenang Barat, sebanyak 31 kejadian. Kejadian banjir tersebut menyebabkan kerugian materil berupa 10.774 ha sawah terendam, 43 rumah sakit rusak, serta 698 rumah terendam. Banjir juga menyebabkan kerugian nyawa dimana 14 orang meninggal dunia, 529 orang terluka serta 2 orang dinyatakan hilang [6]. Kecamatan Pamenang Barat di kabupaten Merangin merupakan daerah yang termasuk ke dalam

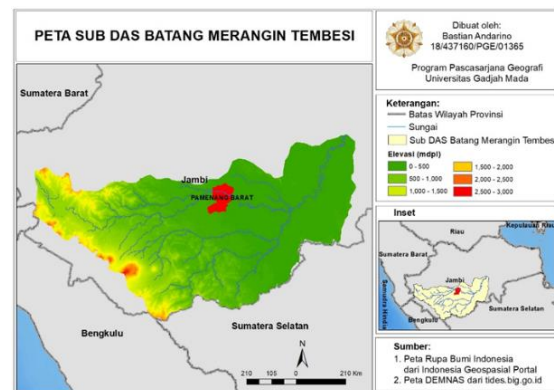
Sub-DAS Batang Merangin Tembesi. Sebagai sub-DAS terluas di DAS Batanghari, Sub-DAS Batang Merangin Tembesi dapat mewakili beberapa permasalahan yang telah disebutkan, khususnya banjir.

Penelitian untuk mengetahui perubahan curah hujan dan pengaruhnya terhadap perubahan luasan banjir perlu dilakukan pemodelan untuk mengetahui dampaknya dan sebagai informasi awal untuk pengelolaan DAS di masa depan. Dapat disimpulkan tiga masalah yang akan diteliti:

- Bagaimana perubahan curah hujan di sebagian Sub-DAS Batang Merangin Tembesi (kecamatan Pamenang Barat)?
- Bagaimana pemodelan banjir di sebagian Sub-DAS Batang Merangin Tembesi (kecamatan Pamenang Barat)?
- Bagaimana perubahan luasan banjir di sebagian Sub-DAS Batang Merangin Tembesi (kecamatan Pamenang Barat)?

## 2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian berada kecamatan Pamenang Barat, kab. Merangin, yang berada sebagian Sub-DAS Batang Merangin Tembesi yang merupakan bagian dari DAS Batanghari yang terletak pada provinsi Jambi sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: 1) data hasil observasi data tinggi muka air serta data debit harian serta 2) data DEMNAS dan 3) Peta Rupa Bumi Indonesia, 4) data historis kejadian banjir di Provinsi Jambi untuk periode 2010 – 2019, serta 5) data curah hujan pada saat kejadian banjir tersebut.

Data-data historis kejadian banjir difilter dan disortir untuk menentukan jumlah serta lokasi kejadian banjir di provinsi Jambi, selain itu juga dihitung tingkat kerugian baik materil maupun korban jiwa akibat banjir tersebut, kemudian dipilih beberapa kejadian yang dianggap

mewakili dari segi dampak yang ditimbulkan. Data curah hujan dari beberapa pos pengamatan hujan di sekitar lokasi banjir juga dicatat, kemudian dipetakan menggunakan aplikasi ArcGIS sesuai dengan tahun kejadian banjir terpilih untuk dianalisis secara spasial. Selanjutnya dilakukan pemodelan ulang kejadian banjir dengan aplikasi HECRAS. HECRAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System (RAS)*, berupa model aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HECRAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan [7]. Selanjutnya dilakukan pemetaan dengan aplikasi ArcGIS untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan luasan banjir akibat perubahan curah hujan. Pemilihan kejadian banjir berdasarkan intensitas hujan yang tercatat pada saat kejadian. Hasil pemodelan divalidasi dengan data kejadian dari BNPB dengan membandingkan daerah yang terdampak.

Hasil analisis data disajikan dalam beberapa bentuk. Analisis curah hujan disajikan dalam bentuk grafik agar dapat dijelaskan secara deskriptif. Selain itu juga disajikan dalam bentuk peta sebaran untuk dapat diketahui sebarannya secara spasial. Data hasil pemodelan banjir disajikan dalam bentuk spasial agar dapat diketahui perbedaannya secara kasat mata, selain itu juga disajikan dalam bentuk tabel perbandingan luasannya untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan luasan.

Beberapa tahapan perlu dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan dalam penelitian ini. Tahapan pertama yaitu dengan memilih kejadian banjir yang berdasarkan data historis kejadian banjir dari BPNB. Selanjutnya menentukan data curah hujan dari beberapa pos pengamatan yang berada di sekitar lokasi berdasarkan kejadian banjir yang dipilih sebelumnya. Data debit saat kejadian banjir dan data DEMNAS digunakan untuk memodelkan kejadian banjir dengan menggunakan aplikasi HECRAS. Data debit digunakan untuk membentuk kontrol aliran yang selanjutnya

menjadi plan aliran, sedangkan data DEMNAS digunakan untuk menentukan penampang sungai serta alur sungai yang selanjutnya menjadi plan geometri. Hasil keluaran pemodelan banjir kemudian diolah dan dipetakan dengan aplikasi ArcGIS. Luasan banjir untuk setiap kejadian dihitung untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pada setiap kejadian. Peta administrasi juga di *overlay* dengan peta pemodelan banjir untuk dianalisis secara spasial.

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Historis Banjir.** Historis kejadian banjir terpilih dari data BNPB [6] terdapat empat kejadian banjir yang cukup memberikan dampak kerugian baik materil berupa kerusakan rumah, fasilitas umum, serta lahan pertanian dan perkebunan, maupun korban jiwa di kecamatan Pamenang Barat sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1.** Historis banjir di Pamenang Barat (sumber: data BNPB)

Tanggal	Korban	Rumah	Fasum	Lahan (ha)
2016/04/25	0	0	0	2
2016/12/01	0	0	2	0
2017/11/26	0	12	0	4,5
2019/04/24	1	2	0	0

Data yang diperlukan untuk menganalisis kejadian banjir salah satunya yaitu data curah hujan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Muaro Jambi, terdapat lima titik pos pengamatan curah hujan sekitar kecamatan Pamenang Barat yang ditunjukkan pada Gambar 2. Lima pos pengamatan tersebut yaitu pos hujan Bangko, pos hujan Batang Masumai, pos hujan Nalo Tantan, pos hujan Pamenang Barat, pos hujan Pamenang I.



**Gambar 2.** Peta sebaran pos hujan. (sumber: data diolah)

Berdasarkan historis banjir terpilih, kejadian banjir di kecamatan Pamenang Barat terjadi tidak hanya pada musim hujan saja, yaitu Oktober – Maret, tapi juga terjadi pada masa

peralihan dari musim hujan ke musim kemarau, yaitu pada bulan April. Data curah hujan pada pos hujan di sekitar kecamatan Pamenang Barat saat kejadian banjir ditunjukkan oleh Tabel 2.

**Tabel 2.** Curah hujan saat kejadian banjir. (sumber: data diolah)

Tanggal/ Pos Hujan	2016/ 04/25	2016/1 2/01	2017/1 1/26	2019/0 4/24
Bangko	0	64	12	67
Batang Masumai	28	67	2	37
Nalo Tantan	15	0	1	X
Pamenang Barat	60	48	3	X
Pamenang I	0	40	13	80

Keterangan: X = tidak ada data.

Pada kejadian banjir tanggal 25 April 2016 terlihat bahwa curah hujan yang tercatat pada pos hujan di sekitar lokasi mulai dari 0 hingga 60 mm/hari (hujan lebat). Suplai air didapatkan dari pos hujan Nalo Tantan (15 mm) dan pos hujan Batang Masumai (25 mm) serta pos hujan Pamenang Barat sendiri sebesar 60 mm. Banjir tanggal 01 Desember 2016 terlihat bahwa curah hujan yang tercatat pada pos hujan di sekitar lokasi mulai dari 0 hingga 67 mm/hari (hujan lebat). Suplai air didapatkan dari pos hujan Batang Masumai (67 mm) dan pos hujan Bangko (64 mm) serta pos hujan Pamenang Barat (48 mm) dan pos hujan Pamenang I sebesar 40 mm. Kejadian banjir tanggal 26 November 2017 terlihat bahwa curah hujan yang tercatat pada

pos hujan di sekitar lokasi mulai dari 1 hingga 13 mm/hari (hujan ringan). Suplai air didapatkan dari pos hujan Bangko (12 mm) serta pos hujan Pamenang I sebesar 13 mm. Banjir yang terjadi tanggal 24 April 2019 menunjukkan curah hujan yang tercatat pada pos hujan di sekitar lokasi mulai dari 37 hingga 80 mm/hari (hujan lebat). Suplai air didapatkan dari pos hujan Bangko (67 mm) dan pos hujan Batang Masumai (37 mm) serta pos hujan Pamenang I sendiri sebesar 80 mm.

Sebagaimana dinyatakan oleh [8] bahwa kejadian banjir tidak hanya disebabkan oleh hujan dengan intensitas yang tinggi saja, melainkan dapat diakibatkan oleh hujan dengan intensitas sedang hingga rendah. Hal ini dikarenakan pada daerah perkotaan, tidak hanya faktor curah hujan yang mempengaruhi kejadian banjir namun juga terdapat faktor lain berupa kondisi lokal yaitu tutupan lahan serta kondisi drainase.

**Perubahan Curah Hujan.** Kondisi curah hujan pada lima pos hujan di sekitar kecamatan Pamenang Barat umumnya terdiri atas dua pola perubahan, yaitu tren meningkat pada saat masa peralihan (April) dan menurun pada periode musim hujan (November - Desember). Tren perubahan pada bulan April ditunjukkan pada Tabel 3, tren perubahan pada bulan November ditunjukkan pada Tabel 4 dan tren perubahan pada bulan Desember ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 3.** Tren curah hujan bulan April. (sumber: data diolah)

Pos hujan/ Parameter	Bangko	Batang Masumai	Nalo Tantan	Pamenang Barat	Pamenang I
Curah hujan harian (mm/hari)	0,0356	0,035	0,0052	0,0022	0,018
Curah hujan bulanan (mm/tahun)	32,727	10,261	-6,2286	-11,029	15,182
Hari hujan bulanan (hari/tahun)	0,3273	0,1879	-0,4286	-1,0571	0,097

**Tabel 4.** Tren curah hujan bulan November. (sumber: data diolah)

Pos hujan/ Parameter	Bangko	Batang Masumai	Nalo Tantan	Pamenang Barat	Pamenang I
Curah hujan harian (mm/hari)	-0,0035	0,0359	0,0048	-0,068	-0,0051
Curah hujan bulanan (mm/tahun)	-3,897	1,4848	-0,5429	-43,943	-6,3333
Hari hujan bulanan (hari/tahun)	0,4242	0,103	-0,1714	-1,4286	-0,1273

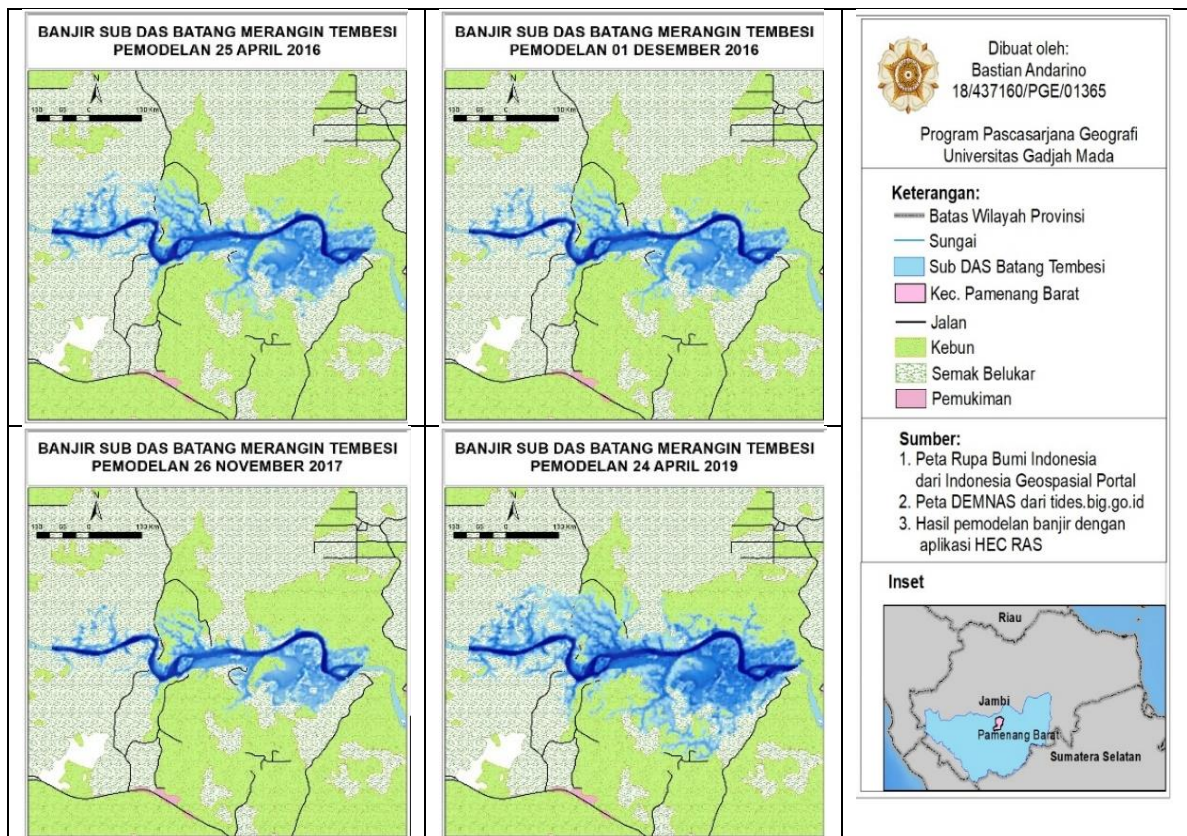
**Tabel 5.** Tren curah hujan bulan Desember (sumber: data diolah)

Pos hujan/ Parameter	Bangko	Batang Masumai	Nalo Tantan	Pamenang Barat	Pamenang I
Curah hujan harian (mm/hari)	-0,0341	0,0274	0,0106	-0,011	-0,0126
Curah hujan bulanan (mm/bulan)	-31,212	10,018	11,4	1,6857	-3,5333
Hari hujan bulanan (hari/tahun)	0,0727	0,7394	1,4	-0,8571	0,4061

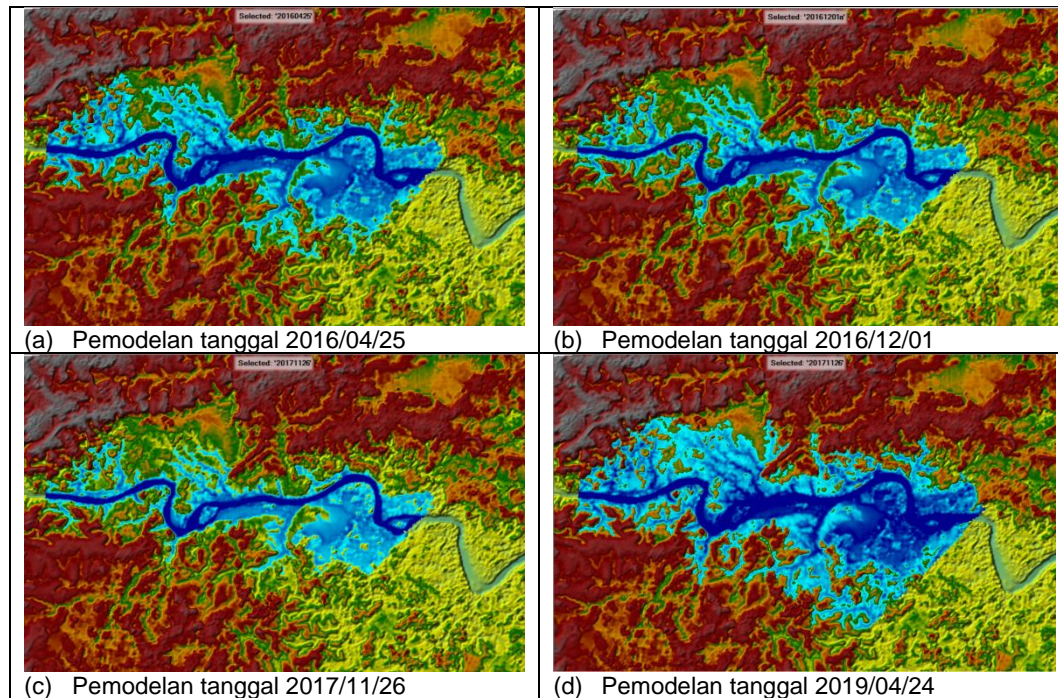
**Pemodelan Banjir.** Hasil pemodelan banjir dengan menggunakan HECRAS dengan masukan data debit dan data DEMNAS untuk kejadian banjir terpilih menunjukkan hasil yang cukup baik untuk kecamatan Pamenang Barat. Berdasarkan hasil analisis spasial *overlay* keluaran pemodelan banjir dengan HECRAS dan data administrasi dari BIG pada ArcGIS, kita dapat mengetahui luasan banjir yang terjadi serta dampaknya terhadap fasilitas umum maupun sektor lainnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Beberapa parameter yang terdampak akibat banjir di kecamatan Pamenang yaitu pemukiman, perkebunan serta fasilitas umum berupa jalan, hal ini sesuai dengan data dari [6]. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang menggunakan HECRAS untuk memodelkan banjir akibat

tanggul roboh [9]. Penelitian lain juga menyatakan bahwa aplikasi HECRAS merupakan alat yang sangat berguna bagi peneliti dan pembuat kebijakan untuk penilaian risiko banjir dengan akurasi dan efektivitas yang lebih tinggi terutama pada DAS yang tidak memiliki data debit [10]. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil pemodelan, diketahui bahwa kenaikan curah hujan berbanding lurus dengan kenaikan debit maksimum pada sungai. Disisi lain, peningkatan debit maksimum juga berbanding lurus dengan luasan banjir yang terjadi. Meskipun hasil penelitian [11] menyatakan hanya ada hubungan yang rendah antara curah hujan dengan debit sungai.



**Gambar 4.** *Overlay* hasil pemodelan dengan peta administrasi. (sumber: data diolah)



**Gambar 3.** Hasil pemodelan banjir dengan HECRAS (sumber: data diolah)

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

(1) Terjadi perubahan curah hujan di kecamatan Pamenang Barat, baik berupa tren kenaikan maupun tren penurunan. Pada bulan April, peningkatan hujan harian tertinggi yaitu pos hujan Bangko sebesar 0,0356 mm/hari. Peningkatan curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada pos hujan Bangko sebesar 32,727 mm/tahun dan penurunan curah hujan tertinggi terjadi pada pos hujan Pamenang Barat sebesar -11,029 mm/tahun. Parameter hari hujan bulanan juga terjadi tren peningkatan terbesar terjadi pada pos hujan Bangko sebesar 0,3273 hari/tahun dan penurunan terbesar terjadi pada pos hujan Pamenang Barat sebesar -1,0571 hari/tahun. Pada November peningkatan curah hujan harian tertinggi yaitu pos hujan Batang Masumai sebesar 0,0359 mm/hari dan penurunan curah hujan tertinggi terjadi pada pos hujan Pamenang Barat sebesar -0,068 mm/hari. Perubahan curah hujan bulanan peningkatan curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada pos hujan Batang Masumai sebesar 1,4848 mm/tahun dan penurunan curah hujan tertinggi terjadi pada pos hujan Pamenang Barat sebesar -43,943 mm/tahun. Pada parameter hari hujan bulanan peningkatan terbesar terjadi pada pos hujan Bangko sebesar 0,4242 hari/tahun dan penurunan terbesar terjadi pada pos hujan Pamenang Barat sebesar -1,4286 hari/tahun.

(2) Aplikasi HECRAS dapat memodelkan banjir di kecamatan Pamenang Barat dengan hasil yang baik. Berdasarkan hasil pemodelan diketahui bahwa peningkatan curah hujan ada hubungannya dengan peningkatan debit air maksimum pada kejadian banjir terpilih.

(3) Hasil pemodelan menunjukkan bahwa luasan banjir akan bertambah dengan terjadinya peningkatan debit air. Semakin luas banjir yang terjadi, maka dampak yang diakibatkan juga akan semakin besar. Banjir yang terjadi di kecamatan Pamenang Barat berdampak pada akses jalan, perkebunan serta pemukiman warga.

**Saran.** (1) Analisis tren sangat tergantung dengan titik awal dan titik akhir acuan. Untuk memperoleh hasil analisis yang mewakili, dibutuhkan series data yang panjang. (2) Kejadian banjir sangat bervariasi, terutama dengan pengaruh hujan. Hujan dengan intensitas lebat dan terjadi dalam waktu singkat serta hujan dengan intensitas sedang yang terjadi dalam waktu lama akan menghasilkan banjir yang berbeda pula. Penelitian tentang kejadian banjir membutuhkan banyak sampel kejadian untuk memperoleh hasil yang baik. Apabila diperlukan saran dapat berisi rekomendasi, tindak lanjut nyata, atau implikasi kebijakan atas kesimpulan yang diperoleh

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah mensponsori studi pascasarjana penulis dimana tulisan ini tidak lepas dari satu tahapan dalam menyelesaikan studi.

## Daftar Pustaka

- [1] Aldrian, E.; Karmini, M.; Budiman. (2011). Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia. BMKG.
- [2] Maryono, A. (2005). Menangani Banjir, Kekeringan, dan Lingkungan. UGM Press, Yogyakarta.
- [3] Syahrial, A.; Azmeri; Meiliana, E. (2017). Analisis Kekeringan Menggunakan Metode *Theory of Run* di DAS Krueng Aceh. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. 24(2), 167.
- [4] Aji, D. M. N; Sudarsono, B.; Sasmito, B. (2014). Identifikasi Zona Rawan Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Sub-DAS Dengkeng). *Jurnal Geodesi Undip*. 3(1), 36
- [5] Maryono, A. (2005) Menangani Banjir, Kekeringan, dan Lingkungan. UGM Press, Yogyakarta.
- [6] <https://dibi.bnpp.go.id/>
- [7] Davis, CA. (2010). *Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, U. S. Army Corps of Engineers.*
- [8] Dinis, P.A.; Huvi, J.; Cabral Pinto, M.; Carvalho, J. (2021). *Disastrous Flash Floods Triggered by Moderate to Minor Rainfall Events. Recent Cases in Coastal Benguela (Angola)*. *Hydrology*, 8, 73.
- [9] Tedla, M.G., Cho, Y., Jun, K. (2021). *Flood Mapping from Dam Break Due to Peak Inflow: A Coupled Rainfall-Runoff and Hydraulic Models Approach*. *Hydrology*, 8, 89.
- [10] Kastridis, A.; Stathis, D. (2020). *Evaluation of Hydrological and Hydraulic Models Applied in Typical Mediterranean Ungauged Watersheds Using Post-Flash-Flood Measurements*. *Hydrology*, 7, 12.
- [11] Muslim. (2015). Analisis Hubungan Curah Hujan dan Banjir di DAS Batanghari. Tesis, Program Magister Geografi. UGM. Yogyakarta.

## **PENGARUH SERUAKAN DINGIN ASIA TERHADAP TINGGI GELOMBANG MAKSIMUM DI SELAT KARIMATA DAN LAUT JAWA**

### ***THE INFLUENCE OF ASIAN COLD SURGE ON THE MAXIMUM WAVE HEIGHT OVER KARIMATA STRAIT AND JAVA SEA***

**Budi Setiawan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bidang Kualitas Udara Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

\*E-mail: budbey@yahoo.com

Naskah masuk: 02 Juli 2021

Naskah diperbaiki: 15 Juli  
2021

Naskah diterima: 29 Juli 2021

#### **ABSTRAK**

Indonesia merupakan negara kepulauan di daerah tropis dengan 2 (dua) musim (hujan dan kemarau), yang sebagian besar daerahnya merupakan daerah lautan. Musim di Indonesia sangat dipengaruhi oleh aktivitas monsun dingin Asia Timur yang juga memberikan pengaruh terhadap munculnya aktivitas seruakan dingin Asia yang membawa massa udara dingin dari belahan bumi utara ke belahan bumi selatan melewati daerah kepulauan maritim (*cross equatorial flow*). Kondisi ini kemudian menyebabkan terbentuknya awan – awan hujan yang merata dengan durasi yang cukup lama di daerah tersebut. Selain berdampak pada meningkatnya intensitas dan durasi hujan, seruakan dingin Asia diduga kuat juga memberikan dampak terhadap peningkatan tinggi gelombang di daerah tersebut. Hal ini dikarenakan pergerakan angin dominan yang bertiup cukup lama sehingga meningkatkan ketinggian gelombang, terutama di Selat Karimata dan Laut Jawa. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan dampak seruakan dingin Asia terhadap variasi rata-rata tinggi gelombang maksimum di Selat Karimata dan Laut Jawa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat jeda waktu antara meningkatnya aktivitas seruakan dingin Asia di Laut Cina Selatan dengan meningkatnya tinggi gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa, sehingga dapat dilakukan antisipasi dini dampak gelombang tinggi yang ditimbulkan.

Kata kunci:

Seruakan dingin Asia, jeda waktu, prakiraan tinggi gelombang, pendekatan sebab akibat.

#### **ABSTRACT**

*Indonesia is an archipelagic state in the tropical area with 2 (two) seasons (rainy season and dry season), which predominantly covered by ocean. Seasons in Indonesia are highly affected by the activity of the monsoon, with several influences such as alteration of intensity and duration of rain as well as the prevailing wind speed and direction on a different season. East Asian Cold Monsoon provides the influence on the appearance of Asian Cold Surge activity that bring cold air mass from North Hemisphere to South Hemisphere through the maritime continent area (cross equatorial flow). This condition consequently forms distributed rain clouds with relatively long duration in that area. In addition to the increase in intensity and rain duration, Asian Cold Surge also has an impact on the wave height increase in the area. This is because the movement of prevailing wind in which it flows in a relatively long time that raises the height of the wave. This research aims to attain the influence of the Asian Cold Surge against the daily variation of the maximum wave height over Karimata Straits and the Java Sea. It shows that there is a time delay between the increase of Asian Cold Surge activity and the increase of the wave height in Karimata Strait and Java Sea. Due to this premise, it is possible to perform an early anticipation on the upcoming impact of high waves.*

*Key words:*

*Asian cold surge, wave height, time delay.*

## 1. Pendahuluan

Seruakan Dingin Asia atau *Asian Cold Surge* atau *Cold Surge* merupakan fenomena cuaca yang memberikan pengaruh sangat besar dan kuat di beberapa daerah di Asia Timur-Tenggara [1]. Fenomena ini memiliki variasi durasi antara 4 hingga 20 hari dengan variasi seruakan terkuat pada interval 6–7 hari. Kondisi ini diawali dengan peningkatan tekanan permukaan di Siberia pada saat musim dingin di belahan bumi bagian utara, bersamaan dengan penurunan suhu di daerah tersebut yang kemudian diikuti dengan munculnya lidah kontur suhu muka laut yang dingin di sepanjang Perairan Timur Benua Asia (selanjutnya disingkat sebagai PTBA) menuju Laut Cina Selatan (selanjutnya disingkat sebagai LCS). Hal ini menyebabkan peningkatan kecepatan angin yang berhembus dari benua Asia melalui kanal aliran di PTBA hingga LCS. Hal ini kemudian mendesak massa udara dari belahan bumi utara (selanjutnya disingkat sebagai BBU) yang melalui ekuator menuju belahan bumi selatan (selanjutnya disingkat sebagai BBS), yang kemudian disinyalir memberikan dampak terhadap peningkatan kecepatan angin utara di Selat Karimata serta angin Baratan di Laut Jawa. Peningkatan kecepatan angin di Laut Jawa kemudian memberikan dampak terhadap peningkatan tinggi gelombang di daerah tersebut.

Terdapat 3 (tiga) fase kejadian seruakan dingin Asia yang memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan awan di daerah LCS hingga kepulauan maritim Indonesia (BMKG,2015). Tiga fase tersebut adalah:

- a. Fase 1: terjadi ketika seruakan dingin Asia diperkirakan terjadi maksimum di daerah Hong Kong (22 LU, 114 BT), dengan indikasi cuaca berupa udara dingin dan kering di daerah tersebut
- b. Fase 2: terjadi ketika seruakan dingin Asia diperkirakan mencapai koordinat 15 LU di LCS, dengan indikasi berupa angin meridional yang kuat (>8 m/s) sepanjang 15 LU
- c. Fase 3: munculnya *cross equatorial flow* sebagai akibat seruakan dingin Asia yang kuat, dengan indikasi berupa angin meridional yang kuat (>5 m/s) di sepanjang daerah benua maritim ekuator

*Cross equatorial flow* sendiri didefinisikan sebagai mengalirnya massa udara dari BBU ke BBS dengan melintasi ekuator, yang terjadi pada saat seruakan dingin aktif dan dengan syarat tidak terjadi pusaran angin di BBU, tidak terjadi palung tekanan rendah di dekat ekuator

serta tidak terjadi gangguan tropis ([2] dalam [3]).

Terdapat banyak penelitian [3-6] yang membahas mengenai dampak seruakan dingin terhadap kondisi cuaca khususnya perawanan di Indonesia untuk daerah dengan tipe hujan monsunial, yakni Sumatera, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, serta Kalimantan. Namun demikian seruakan dingin tidak hanya memberikan pengaruh terhadap kondisi perawanan saja, namun juga memberikan pengaruh terhadap kondisi maritim, yang dalam hal ini memberikan pengaruh paling signifikan terhadap tinggi gelombang [7]. Sementara itu informasi tinggi gelombang memegang peranan penting bagi keselamatan transportasi laut, sebagaimana Indonesia merupakan negara kepulauan dengan laut sebagai jalur penghubung perjalanan antar pulau. Dalam analisis kecelakaan transportasi laut yang dilakukan oleh Nathaniel,dkk [8] dengan menggunakan data dari KNKT Kementerian Perhubungan, disebutkan bahwa faktor terbesar kecelakaan transportasi laut di Indonesia disebabkan oleh faktor alam (38%) dan faktor manusia (36%).

Studi mengenai seruakan dingin Asia memberikan kemanfaatan dalam identifikasi bencana yang disebabkan banjir akibat hujan lebat di beberapa daerah Indonesia, serta identifikasi gangguan transportasi laut akibat peningkatan secara signifikan gelombang tinggi maksimum di perairan Indonesia. Namun berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, telah banyak studi dilakukan dalam menganalisis hubungan antara seruakan dingin dengan hujan, yakni terjadi peningkatan curah hujan ketika fase seruakan dingin aktif. Sementara itu masih belum banyak kajian–kajian yang lebih mendalam mengenai aktivitas seruakan dingin Asia terhadap kenaikan tinggi gelombang maksimum terutama di daerah perairan Indonesia. Oleh karena itu muncul pertanyaan penelitian yang dirasa perlu untuk dilakukan penelitian, yakni mengenai bagaimana pengaruh dan dampak seruakan dingin Asia terhadap variasi rata–rata tinggi gelombang maksimum di Selat Karimata dan Laut Jawa, dan bagaimana validasi hubungan sebelum dan pasca kejadian seruakan dingin harian terhadap tinggi gelombang maksimum di daerah tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan dampak seruakan dingin Asia terhadap variasi rata–rata tinggi gelombang maksimum di Selat Karimata dan Laut Jawa. Dipilihnya Selat Karimata dan Laut Jawa karena merupakan perairan laut yang paling terdampak

dari aktivitas seruakan dingin, dimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa daerah Sumatera, Kalimantan dan Jawa merupakan daerah tipe monsunal yang berhubungan dengan seruakan dingin [4].

## 2. Data Dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menguji dampak peningkatan tinggi gelombang untuk 5 (lima) kasus kejadian gelombang tinggi di Selat Karimata dan Laut Jawa pada saat seruakan dingin aktif di LCS. 5 (lima) kejadian yang telah dipilih dan akan dianalisis antara lain kejadian seruakan dingin Asia aktif pada tanggal 02 – 06 Januari 2013, 16 – 21 Januari 2013, 02 – 07 Maret 2013, 11 – 16 Januari 2014 dan 18 – 24 Februari 2014. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Data angin zonal dan meridional permukaan harian pada tanggal terpilih yang didapatkan dari *Earth System Research Laboratory (ESRL), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* Amerika. Sedangkan dataset yang digunakan adalah data *NCEP/NCAR reanalysis surface level*. Data diperoleh dengan mengakses gratis di situs [www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov)
2. Data tinggi gelombang total maksimum bulanan pada tanggal terpilih dari model *Windwaves-05* yang telah divalidasi dengan hasil yang cukup baik. Data diperoleh dari Sub Bidang Informasi Meteorologi Maritim, BMKG.

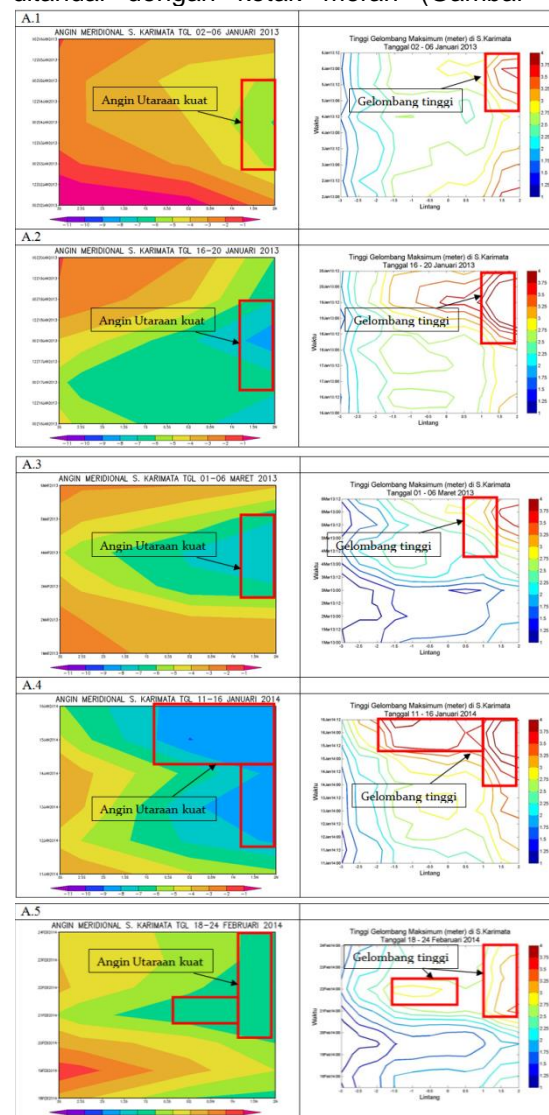
Sedangkan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan pendekatan deskriptif. Peneliti berusaha menggambarkan dan menginterpretasi objek, yaitu pengaruh seruakan dingin terhadap tinggi gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa, dan juga dilakukan pengembangan teori yang ada dan telah memiliki validitas universal. Pendekatan lain yang dilakukan adalah pendekatan sebab akibat dimana mencari kebenaran bahwa seruakan dingin menjadi penyebab pada naiknya ketinggian gelombang laut di daerah Selat Karimata dan Laut Jawa yang terjadi hampir bersamaan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dari masing–masing kejadian kemudian dilakukan pengujian terhadap parameter angin zonal di Laut Jawa dan parameter angin meridional di Selat Karimata, serta tinggi gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati hubungan peningkatan pola angin meridional dengan tinggi gelombang maksimum pada

masing–masing kejadian. Analisis dilakukan dengan memperhatikan peta hovmoller untuk kekuatan angin dan ketinggian gelombang sehingga dapat diketahui tahap perubahan nilai besaran angin dan tinggi gelombang pada masing–masing kejadian.

**Angin Meridional Versus Tinggi Gelombang di Selat Karimata.** Analisis terhadap angin meridional dan tinggi gelombang di Selat Karimata dilakukan untuk mengetahui adanya hubungan antara pola angin meridional dengan pola gelombang maksimum di Selat Karimata. Daerah dengan pola kontur yang sama dengan ditandai dengan kotak merah (Gambar 1).



**Gambar 1.** Sebaran Hovmoller angin meridional (kiri) dan tinggi gelombang maksimum (kanan) di Selat Karimata pada Kejadian I – V (A.1 – A.5). (sumber: data diolah)

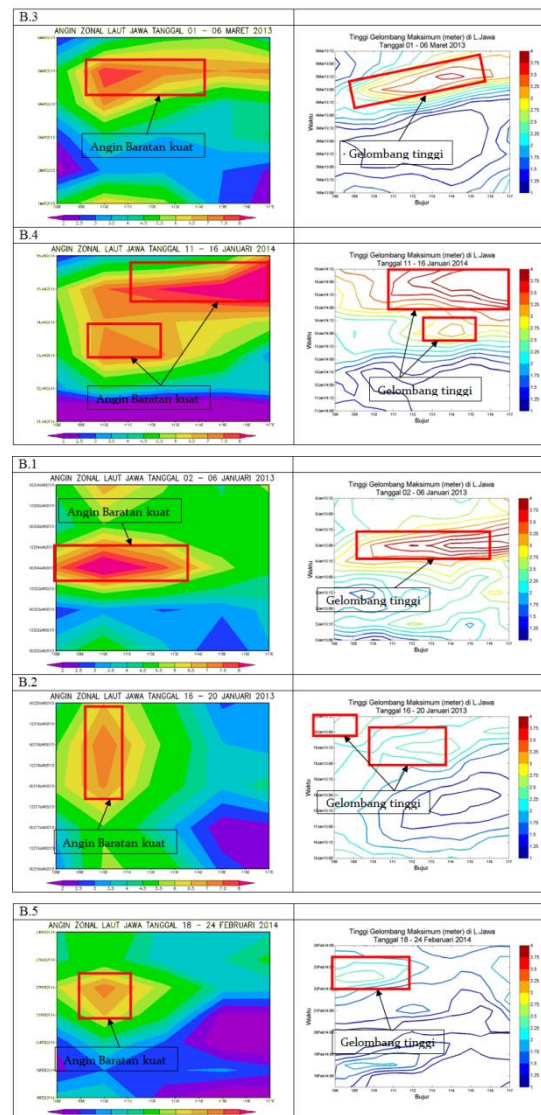
Dari peta Hovmoller kekuatan angin meridional di Selat Karimata, menunjukkan pola kontur yang hampir sama dengan ketinggian gelombang di Selat Karimata, meskipun tidak

persis sama. Hal ini dikarenakan besar resolusi grid yang berbeda pula, dimana untuk kekuatan angin meridional menggunakan lebar grid  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ , sementara untuk tinggi gelombang  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ . Namun demikian pada Kejadian I, II dan III ditunjukkan adanya pergeseran waktu yang sangat jelas terhadap peningkatan tinggi gelombang di Selat Karimata dibandingkan dengan peningkatan kecepatan anginnya, dimana peningkatan tinggi gelombang hingga mencapai maksimumnya terjadi beberapa hari setelah nilai kekuatan angin meridionalnya mencapai maksimum di Selat Karimata. Pada kejadian yang sama tidak terlihat adanya pergeseran posisi lintang antara lokasi angin meridional maksimal dengan tinggi gelombang maksimal. Sementara itu untuk kejadian IV dan V menunjukkan pola yang hampir mirip antara kedua peta Hovmoller. Perlu diperhatikan bahwa nilai negatif pada besaran angin meridional menunjukkan adanya angin utara sebagai akibat dari adanya aliran massa udara dari BBU yang sangat kuat, sehingga meningkatkan ketinggian gelombang yang cukup signifikan di Selat Karimata.

**Angin Zonal Versus Tinggi Gelombang di Laut Jawa.** Selanjutnya dilakukan analisis terhadap angin zonal dan tinggi gelombang di Laut Jawa. Sama halnya dengan pembahasan III.1, daerah yang diberi kotak merah menunjukkan daerah dengan pola kontur yang sama, yang mengindikasikan adanya hubungan antara pola angin zonal dengan pola gelombang maksimum di Laut Jawa.

Peta Hovmoller angin zonal di Laut Jawa pada Gambar 2 juga menunjukkan pola yang hampir sama dengan pola tinggi gelombang di Laut Jawa. Meskipun demikian terlihat adanya pergeseran waktu antara kejadian angin zonal maksimal dengan tinggi gelombang maksimal di Laut Jawa. Selain itu juga terdapat pergeseran posisi bujur ke arah Timur, dimana jelas terlihat pada Kejadian I hingga IV. Berkebalikan dengan angin meridional, untuk angin zonal nilai positif menunjukkan angin Baratan dari aliran massa udara dari BBU yang kuat, dimana kondisi ini juga mampu meningkatkan ketinggian gelombang yang cukup signifikan di Laut Jawa. Dapat disimpulkan dari perbandingan angin meridional dengan tinggi gelombang di Selat Karimata dengan angin zonal dengan tinggi gelombang di Laut Jawa, bahwa terdapat jeda waktu antara kejadian angin maksimal dengan tinggi gelombang maksimal selama 1 – 2 hari baik di Selat Karimata maupun di Laut Jawa. Pergeseran lokasi kejadian angin maksimal dengan gelombang maksimal tidak terlihat signifikan di daerah Selat Karimata, namun di

Laut Jawa terlihat adanya pergeseran yang cukup signifikan terutama pada Kejadian I hingga IV ke arah Timur. Hal ini dimungkinkan terjadi karena rambatan aliran angin kencang dari daerah asal di sebelah Barat dan menimbulkan gelombang tinggi yang cukup kuat di arah sebelah Timurnya. Dan untuk jeda waktu kejadian dapat dianalisis sebagai waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan tinggi gelombang terjadi selama 1 – 2 hari.



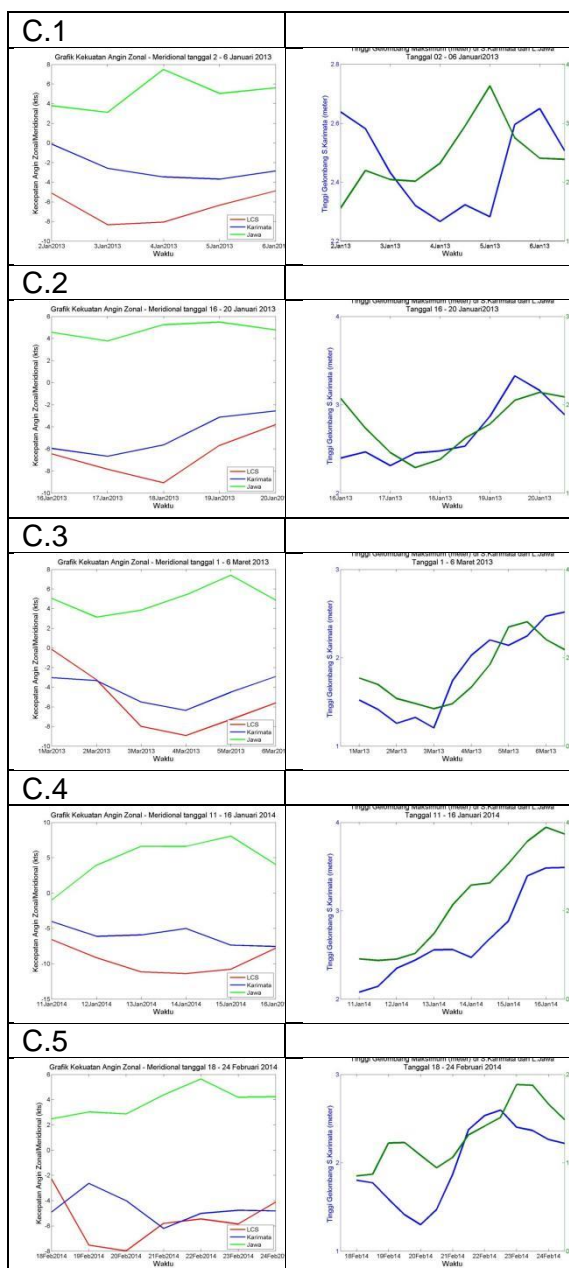
**Gambar 2.** Sebaran Hovmoller angin zonal (kiri) dan tinggi gelombang maksimum (kanan) di Laut Jawa pada Kejadian I – V (B.1 – B.5). (sumber: data diolah)

**Analisis Kekuatan Angin Meridional di LCS dan Selat Karimata, serta Angin Zonal di Laut Jawa terhadap Tinggi Gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa pada tiap-tiap Kejadian.** Kemudian dilakukan analisis terhadap hubungan peningkatan kekuatan angin di LCS terhadap kenaikan tinggi gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa, serta peningkatan kekuatan angin di Selat Karimata dan Laut Jawa terhadap kenaikan tinggi gelombang di lokasi yang sama. Perlu diingat bahwa angin meridional utara di LCS dan Selat Karimata yang kuat sebagai akibat dari seruakan dingin di BBU akan bernilai negatif, sementara angin zonal Baratan di L. Jawa yang kuat akan bernilai positif.

gelombang maksimum (kanan) di Selat Karimata dan Laut Jawa pada Kejadian I – V (C.1 – C.5) (sumber: data diolah)

Dari perbandingan antara grafik kekuatan angin zonal dan meridional dengan tinggi gelombang dapat diketahui jeda waktu antara kekuatan angin maksimum pada masing – masing lokasi penelitian dengan tinggi gelombang maksimum pada masing – masing lokasi pula. Untuk mempermudah pembahasan maka selanjutnya ditentukan A adalah daerah penelitian di LCS, B adalah Selat Karimata dan C adalah Laut Jawa, dengan memperhatikan tabel di bawah ini.

**Tabel.1** Analisis jeda waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan ketinggian gelombang di daerah penelitian akibat dari kejadian seruakan dingin dari BBU. (sumber: data diolah)



No	Kekuatan Angin			Tinggi Gelombang		Jeda			
	A	B	C	B	C	A-B	B-B	A-C	C-C
K.I	3-Jan	5-Jan	4-Jan	6-Jan	5-Jan	3	1	2	1
K.II	18-Jan	17-Jan	19-Jan	19-Jan	20-Jan	1	2	2	3
K.III	4-Mar	4-Mar	5-Mar	5-Mar	6-Mar	1	1	2	1
K.IV	14-Jan	15-Jan	15-Jan	16-Jan	16-Jan	2	1	2	1
K.V	20-Feb	21-Feb	22-Feb	22-Feb	23-Feb	2	1	3	1
Nilai Rata – rata						1.8	1.2	2.2	1.4
Nilai Tengah						2	1	2	1

Keterangan: K= Kejadian

Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa jeda waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan tinggi gelombang maksimum di Selat Karimata dan Laut Jawa memiliki rata – rata waktu 1.8 dan 2.2 hari jika kekuatan angin penggerak di LCS mencapai maksimum, dan 1.2 serta 1.4 hari jika kekuatan angin penggerak di lokasi yang sama, yakni Selat Karimata dan Laut Jawa. Sementara itu memiliki nilai tengah dimana merupakan jeda waktu yang paling sering terjadi sebesar 2 hari jika kekuatan angin penggerak mencapai maksimum di LCS dan 1 hari jika kekuatan angin penggerak mencapai maksimum di lokasi yang sama. Sehingga rata – rata waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan kekuatan tinggi gelombang lebih lama di Laut Jawa dibandingkan dengan di Selat Karimata, sedangkan umumnya butuh 2 hari untuk menaikkan tinggi gelombang jika seruakan dingin sudah diidentifikasi aktif di LCS, dan umumnya butuh 1 hari jika seruakan dingin sudah mencapai lokasi yang sama.

**Gambar 3.** Grafik angin zonal di Laut Jawa & meridional di Selat Karimata serta LCS (kiri) dan tinggi

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Thurman [9], menyatakan bahwa jika terdapat kekuatan angin yang bertiup pada suatu daerah lautan, maka secara bertahap akan membentuk gelombang kecil (gelombang kapilar) yang kemudian akan terbentuk gelombang yang lebih besar baik secara panjang gelombang maupun ketinggian (gelombang grafiti). Sejalan dengan kesimpulan tersebut, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa meningkatnya kekuatan aliran angin pada saat seruakan dingin aktif dari BBU, maka diperlukan waktu secara bertahap untuk meningkatkan ketinggian gelombang di daerah yang dilalui oleh aliran angin ini yang juga sejalan dengan penelitian sebelumnya [10], yakni di Selat Karimata dan Laut Jawa. Sementara itu hasil penelitian ini bersesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan di lokasi yang berbeda, dimana pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hai [7] dikemukakan bahwa terdapat peningkatan tinggi gelombang di LCS pada saat seruakan dingin Asia aktif. Pada penelitian ini kemudian juga diambil kesimpulan bahwa terdapat peningkatan tinggi gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa pada saat terjadi fase seruakan dingin Asia yang aktif.

Dari keseluruhan proses penelitian, dalam mencari hubungan antara aktivitas seruakan dingin dari BBU terhadap ketinggian gelombang laut di Indonesia, didapatkan kesimpulan bahwa dari hasil analisis terhadap 5 (lima) sampel kejadian seruakan dingin aktif, diketahui bahwa:

- a. Perambatan peningkatan tinggi gelombang akibat seruakan dingin Asia terjadi secara bertahap yang diawali dari Selat Karimata kemudian menjalar ke wilayah Laut Jawa.
- b. Dibutuhkan rata – rata 1,8 hari di Selat Karimata dan 2,2 hari di Laut Jawa jika seruakan dingin aktif di LCS. Butuh 2 (dua) hari untuk menaikkan tinggi gelombang di Selat Karimata dan Laut Jawa jika seruakan dingin sudah aktif di LCS, dan 1 (satu) hari pada lokasi yang sama
- c. Terdapat pergeseran wilayah tinggi gelombang maksimum ke arah timur di Laut Jawa akibat kecepatan angin zonal maksimum pada saat seruakan dingin Asia.

Pada prinsipnya dapat ditarik suatu kesimpulan utama, yaitu bahwa seruakan dingin memberikan pengaruh langsung di Selat Karimata dan pengaruh tidak langsung di Laut Jawa terhadap kenaikan tinggi gelombang maksimum. Pengaruh langsung karena kuatnya angin utara dari BBU di Selat Karimata, dan pengaruh tidak langsung berupa *cross equatorial flow* yang membelokkan arah angin

ke timur di Laut Jawa sehingga mampu menaikkan ketinggian gelombang di kedua wilayah tersebut.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ramage C.S. (1971). *Monsoon Meteorology*, International Geophysics Series, volume 15, Elsevier Science & Technology.
- [2] Swarinoto., Y.S. (1996). Studi tentang Aliran intas Ekuator pada Paras 850mb di Daerah Sekitar laut Jawa. Skripsi Universitas Indonesia. Depok
- [3] Supari & Hariadi. (2006). *Analisis Skala Makro dan Skala Meso terhadap aktivitas Cold Surge*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol 7 No.2 Juni 2006. ISSN 1411-3082.
- [4] Affandi, R & Lubis, A & Septiadi, D. (2012). Karakteristik Pola Curah Hujan di Daerah Sekitar Teluk (Studi Daerah Nabire Provinsi Papua dan Fakfak Papua Barat). Jurnal Matematika dan Sains, ITB, Bandung.
- [5] Aldrian, E. Utama, G.S.A., 2007. Identifikasi dan Karakteristik Seruakan Dingin (*Cold Surge*) Tahun 1995 – 2003. Jurnal Sains Dirgantara. Vol. 4 No.2. Hal. 107 – 127.
- [6] Taryono. (2012). *Kajian Aktivitas Cold Surge dan Southerly Surge saat Monsun Asia Musim Dingin di Daerah Jawa*, Tesis S2, Institut Teknologi Bandung, Program Studi Kasus Kebumihan, FITB.
- [7] Hai, O.S. (2013). *Process, Features and Impacts of Cold Surge Induced Monsoon Disturbances in the Equatorial South China Sea During the North East Monsoon*, National Antarctic Research Center Institute of Post Graduate Studies University of Malaya Kuala Lumpur, disajikan dalam seminar Forum Iklim Kebangsaan 2013 Ministry of Science, Technology and Innovation (MOSTI).
- [8] Nathanael, I., Guming, R.O.S., & Pitana, T. (2006). *Analisis Keselamatan Awak Kapal Berdasarkan Konsep the Marine Labor Convention (MLC) 2006 di Rute Penyeberangan Ketapang – Gilimanuk*. Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [9] Thurman, H.V & Trujillo, A.P. (2001). *Essentials of Oceanography Seventh Edition*, Prentice Hall Publisher.
- [10] Mori, S., Hamada, M.D., Yamanaka, M.D. (2018). Meridional march of Diurnal Rainfall over Jakarta, Indonesia, Observed with a C-band Doppler Radar: an overview of HARIMAU 2010 Campaign. *Progress in Planetary Sci* 5, 47 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0202-9>.