



### **IDENTIFIKASI BAKTERI PATOGEN SUNGAI BEDADUNG DI JEMBER INDONESIA**

*(Identification of Bedadung River Pathogen Bacteria in Jember, Indonesia)*

E. Suswati, D. Agustina, R. Riyanti, M. A. Shodikin, E.N. Sakinah, D.S. Sari, Yuliana MDA, dan E.Rachmawati

### **PENGUNAAN DATA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) UNTUK PEMBUATAN DATA GEOMETRIK DALAM PEMODELAN BANJIR SUNGAI**

*(The Use of UAV Data for Creating Geometric Data in Riverflood Modeling)*

Wahyu Wisnu Wijaya, Slamet Suprayogi, Andung Bayu Sekaranom, dan Hendy Fatchurohman

### **DAMPAK DEFORESTASI TERHADAP PRODUKSI LISTRIK PLTA BAKARU SULAWESI SELATAN**

*(3An Impact of Deforestation on Electricity Production of The Bakarlu Hydropower, South Sulawesi)*

Rosmaeni, Irlan, dan Widyanti Utami Adhisti

### **PENGARUH POWER DINAMIKA OSEANOGRAFI TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI MUARA SUNGAI AIR RAMI DAN SELAGAN JAYA, PROVINSI BENGKULU**

*(The Influence of Oceanographic Power Dynamics on Morphological Changes of Air Rami and Selagan Jaya Estuary, Bengkulu Province)*

Supiyati, Suwarsono, Septi Johan, Dea Apriliani, dan Elmiati

### **ANALISIS POTENSI KEKERINGAN METEOROLOGIS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CILIWUNG**

*(Analysis of Dependable Discharge and Management Policy of Bengkulu Watershed for Raw Water Availability in Bengkulu City)*

Dyah Rizky Alyudin, Amanah Anggun Prambandari, Nur Azizah, Kurnia Anggraini, dan Tito Latif Indra

### **POTENSI PENGEMBANGAN AGROFORESTRI BERBASIS KOPI DI HULU DAS CITARUM**

*(LPotential for Development of Coffee-Based Agroforestry in Upper Citarum Watershed)*

Elfira Rosa Juningsih dan Ary Widiyanto

Diterbitkan oleh :

Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI)

Jl. Gunung Batu No 5 Bogor

E-mail: [sekred.jpandas@gmail.com](mailto:sekred.jpandas@gmail.com);

Website: <https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS/index>

Volume 8, Nomor 1, 2024

**JPPDAS**

Jurnal Penelitian  
Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Journal of Watershed Management Research

P-ISSN: 2579-6097

E-ISSN: 2579-5511

#### JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (JPPDAS) pertamakali diterbitkan pada April 2017 oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPPTPDAS) dengan P-ISSN: 2579-6097 dan E-ISSN: 2579-5511. Pada awal penerbitannya, JPPDAS dikelola oleh BPPTPDAS bekerjasama dengan Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia (MKTI). Berdasarkan PermenLHK No 26 Tahun 2021, BPPTPDAS bertransformasi menjadi Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BPSILHK) Solo. Seiring dengan perubahan tersebut, pengelolaan JPPDAS dilanjutkan oleh BPSILHK Solo bersama MKTI. Pada tahun 2023, pengelolaan JPPDAS dialihkan kepada Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI) sehubungan dengan perubahan kewenangan BPSILHK Solo yang tidak lagi melaksanakan kegiatan penelitian serta penerbitan publikasi ilmiah. Transisi pemindahan pengelolaan JPPDAS menyebabkan Tahun 2017 JPPDAS hanya menerbitkan satu kali, yaitu Volume 7 Nomor 1, 2023. Meskipun demikian, komitmen untuk menjaga kualitas dan kesinambungan jurnal tetap menjadi prioritas utama.

#### SASARAN DAN RUANG LINGKUP

Karya Tulis Ilmiah yang diterbitkan dalam JPPDAS merupakan hasil penelitian, kajian konseptual, dan pengembangan metode di bidang pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Ruang lingkup jurnal meliputi bidang pengelolaan lahan dan vegetasi, konservasi tanah dan air, rehabilitasi lahan, hidrologi, sosial, ekonomi, kelembagaan, penginderaan jauh, dan Sistem Informasi Geografis (SIG) yang mendukung teknologi pengelolaan DAS secara berkelanjutan.

#### TERBITAN



JPPDAS diterbitkan oleh Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI)

ISSN *print*/ P-ISSN : 2579-6097

ISSN *electronic*/ E-ISSN : 2579-5511

Edisi elektronik tersedia di

<https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS>



Seluruh KTI yang diterbitkan diberi nomor DOI yang digabungkan dengan awalan DOI Crossreff <https://doi.org/10.59465/jppdas>

#### FREKUENSI PENERBITAN

Jurnal diterbitkan dua kali dalam setahun yaitu pada bulan April dan Oktober dan setiap terbitan berisi 6 Karya Tulis Ilmiah (KTI).

#### KEBIJAKAN PEER REVIEW

Setiap KTI yang diterbitkan di JPPDAS akan ditelaah awal yang meliputi kesesuaian ruang lingkup jurnal dan tata cara penulisan menurut petunjuk penulisan. Selanjutnya telaah dilakukan minimal oleh dua *reviewer* dengan mempertimbangkan kebaruan, orisinalitas, metode, dan dampak keilmuan.

#### AKREDITASI

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (JPPDAS) telah terakreditasi **Peringkat 2** berdasarkan Kutipan dari Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia Nomor **105/E/KPT/2022** tentang Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode 1 Tahun 2022 tanggal **7 April 2022**. Akreditasi berlaku selama 5 (lima) tahun yaitu mulai Volume 5 Nomor 2 Tahun 2021 sampai Volume 10 Nomor 1 Tahun 2026.

#### ALAMAT KORESPONDENSI

**Sekretariat Redaksi JPPDAS:**

**Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI)**

Alamat: Jl Gunung Batu No 5 Bogor

Email: [sekred.jppdas@gmail.com](mailto:sekred.jppdas@gmail.com)

Website: <https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS>

#### PENYERAHAN ONLINE

Penulis yang akan mengirimkan KTI kepada JPPDAS perlu melakukan registrasi untuk mendapatkan *username* dan *password*.

Registrasi dilakukan pada:

<https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS/user/register>

Login dilakukan pada:

<https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS/user/register>

Karya tulis ilmiah harus dikirim secara online melalui website JPPDAS. Penulis dapat memantau proses dan status pengelolaan KTI dalam website tersebut.

#### CHECKLIST PERSIAPAN PENYERAHAN

Sebelum mengunggah KTI, penulis diminta untuk mengecek kelengkapan penyerahannya sebagaimana disebutkan di bawah ini. Apabila KTI tidak sesuai dengan petunjuk jurnal, maka akan dikembalikan ke penulis.

1. Karya tulis ilmiah harus ditulis berdasarkan *template* JPPDAS dan sesuai dengan pedoman bagi penulis.
2. Format referensi berdasarkan gaya *American Psychological Association* (APA) edisi ke 6 dan dikelola dengan perangkat lunak Mendeley.
3. Delapan puluh persen dari referensi yang digunakan merupakan referensi primer terbitan 10 tahun terakhir.
4. Formulir pernyataan etis (Formulir JPPDAS 01\_paper) dan formulir transfer hak cipta (Formulir JPPDAS 06\_copyright Kesepakatan transfer) harus dilampirkan saat penyerahan KTI.
5. Pernyataan kesanggupan membayar *Article Processing Charge*.

#### PROSES PENGEDITAN (*COPY EDITING*) DAN KOREKSI CETAKAN (*PROOFREADING*)

Pada setiap KTI yang diterima akan melalui proses pengeditan untuk peningkatan kualitas tata bahasa oleh tim editorial.

#### PEMERIKSAAN PLAGIARISME

Pemeriksaan plagiarisme dilakukan oleh tim editorial JPPDAS. Apabila terindikasi plagiarisme melebihi 10%, maka KTI akan ditolak.

#### PENGELOLAAN REFERENSI

Untuk ketepatan pengambilan sumber informasi, silakan menggunakan perangkat lunak pengelola referensi Mendeley dalam membuat bibliografi, referensi dan kutipan dalam teks. Format referensi berdasarkan gaya APA ke 6. Mendeley adalah manajer referensi gratis yang dapat diunduh pada: <https://www.mendeley.com/Download-mendeley-desktop>.



#### KEBIJAKAN AKSES TERBUKA

Karya tulis ilmiah dalam JPPDAS dapat diakses secara terbuka dengan tujuan mendukung pertukaran informasi dan pengetahuan secara global.



#### IZIN CC

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dikelola oleh Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI) di bawah CC BY-NC-SA Creative Commons Attribution Non Komersial Berbagi seperti attribution 4.0 internasional.

#### PENGELOLAAN BIAYA

Setiap naskah yang terbit dikenakan biaya pemrosesan penerbitan sebesar Rp. 1.500.000,-. Karya tulis Ilmiah diterbitkan secara elektronik tersedia secara bebas pada website. Penulis dapat menggunakan file dengan ekstensi .pdf yang telah diterbitkan untuk keperluan non-komersial pada website institusi atau pribadi.

#### PROSES INDEX DAN ABSTRAK

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai telah terindeks dari layanan berikut: *Cross Ref*, *Google Scholar*, *Mendeley*, *Indonesian Scientific Journal Database (ISJD)*, *PKP Publishing Services*, *Cite Factor*, *Bielefeld Academic Search Engine (BASE)*, dan *Scientific and Literature (SCILIT)*.

#### HAK CIPTA

Jurnal ini dan kontribusi individu yang terkandung di dalamnya dilindungi oleh hak cipta Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI). Hak cipta tersebut mengikuti ketentuan dan kondisi yang berlaku dalam penggunaannya.

#### PERNYATAAN PRIVASI

Nama dan alamat email yang masuk dalam jurnal ini akan digunakan secara eksklusif untuk kebutuhan jurnal dan tidak akan digunakan untuk kebutuhan pihak lain.

## EDITORIAL TEAM

### Editor in-Chief

Dr. Ir. Dewi Retna Indrawati, M.P.  
(Scopus ID: 57226719729)

Ekologi Manusia

Pusat Riset Kependudukan, Badan  
Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

### Editor

Prof. Ris. Dr. Ir. Tyas Mutiara Basuki,  
M.Sc.  
(Scopus ID: 26030255700)

Hidrologi; Konservasi Tanah dan  
Air, dan Penginderaan Jauh

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,  
BRIN

Prof. Ris. Dr. Irfan Budi Pramono, M.Sc.  
(Scopus ID: 57194592259)

Hidrologi dan Konservasi Tanah

Pusat Riset Limnologi dan Sumber  
Daya Air, BRIN

Dr. Muhammad Anggri Setiawan, M.Sc.  
(Scopus ID: 23487125500)

Geografi

Universitas Gadjah Mada (UGM)

Dr. Agung Budi Supangat, S.Hut., M.T.,  
M.Si  
(Scopus ID: 57226712006)

Hidrologi

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,  
BRIN; MKTI

Dr. Ir. Nining Wahyuningrum, M.Sc.  
(Scopus ID: 57216288607)

Konservasi Tanah dan Air;  
Sistem Informasi Geografis

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,  
(BRIN)

Saut A. Sagala, ST., M.Sc., Ph.D.  
(Scopus ID: 35323035100)

Mitigasi Bencana

Institut Teknologi Bandung (ITB)

Dr. S. Andy Cahyono, S.P., M.Si.  
(Scopus ID: 57329151500)

Sosial Ekonomi

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,  
BRIN

Dr. Yonky Indrajaya, S.Hut., M.T., M.Sc.  
(Scopus ID: 57189633934)

Manajemen Hutan

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,  
BRIN

Dr. Ir. Hunggul Yudono S.H. Nugroho,  
M.Si.  
(Scopus ID: 57194607752)

Hidrologi dan Konservasi Tanah

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,  
BRIN

Dr. Ir. Sulistya ekawati, M.Si.  
(Scopus ID: 57209010673)

Sosiologi Kehutanan;  
Pemberdayaan Masyarakat

Pusat Riset Masyarakat dan Budaya,  
BRIN

**Copy Editor**

Dr. Ir. Endang Savitri, M.Sc.  
(Scopus ID: 57204823033)

Pengelolaan DAS, Konservasi  
Tanah dan Air, Kebencanaan

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

R. Pamungkas Buana Putra, S.Hut., M.Sc  
(Scopus ID: 57092722900)

Silvikultur

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

**Section Editor**

Daniel Pandapotan Simarmata, M.Sc.  
(Scopus ID: 57885111400)

Ekologi Manusia

Pusat Riset Kependudukan,  
BRIN

F. Maftukhakh Hilmya Nada, S.Hut.,  
M.Sc.  
(Scopus ID: 57885111300)

Konservasi Tanah dan Air

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

Dian Pratiwi, S. Hut., M. Sc.  
(Scopus ID: 57222641915)

Konservasi Hutan dan Pengaruh  
Hutan

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

Luthfi Hanindiyasari, S.Hut., M.Sc.  
(Scopus ID:57884113400)

Konservasi dan Pengaruh Hutan

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

Nardy Noerman Najib, S.Hut., M.Ling.  
(Scopus ID: 58115230300)

Management Lingkungan, dan  
Biodiversitas

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

**Layout Editor**

Diah Auliyani, S. Hut., M. Si.  
(Scopus ID: 57219661069)

Konservasi dan Pengaruh Hutan

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN

Tri Hastuti Swandayani, S. Kom., M.Si.

Balai KSDA Yogyakarta

Gipi Samawandana  
(Scopus ID: 58529050100).

Pusat Riset Ekologi dan  
Etnobiologi, BRIN



Sekretariat Redaksi JPPDAS: Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia  
(APTKLHI)

Alamat: Jl. Gunung Batu No 5 Bogor

E-mail: [sekred.jppdas@gmail.com](mailto:sekred.jppdas@gmail.com) ; Website: <https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS/index>

**REVIEWER**

Dr. Tri Sulistyati Widyaningsih, S. Sos., M.Sc. (Scopus ID: 57216432755)	Sosiologi Lingkungan	Pusat Riset Kependudukan, BRIN
Prof. Dr. Ahmad Maryudi, S.Hut., M.For. (Scopus ID: 48461414700)	Kebijakan Kehutanan	Universitas Gadjah Mada (UGM)
Prof. Dr. rer. nat. Junun Sartohadi, M.Sc. (Scopus ID: 24766831900)	Geografi Tanah dan Lingkungan	Universitas Gadjah Mada (UGM); MKTI
Andry Rustanto, S.Si., M.Sc. (Scopus ID: 57192945184)	Geografi	Universitas Indonesia (UI)
Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si., M. Sc. Tech (Scopus ID: 54987826800)	Geografi	Universitas Gadjah Mada (UGM )
Dr. Ogi Setiawan, S. Hut., M.Sc. (Scopus ID: 57205433334)	Hidrologi, Geomorfologi, Kehutanan	Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, BRIN
Dr. Prabang Setyono, S.Si., M.Si. (Scopus ID: 56179823100)	Ekologi Pemodelan dan Rekayasa Lingkungan	Universitas Sebelas Maret (UNS)
Dr. Ryke Nandini, S.Si., M. Si. (Scopus ID: 57205494099)	Konservasi dan Pengaruh Hutan	Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, BRIN
Prof. Dr. Ir. Hidayat Pawitan, M.Sc. (Scopus ID: 55177185300)	Hidrologi Sumberdaya Air	IPB University



Sekretariat Redaksi JPPDAS: Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia  
(APTKLHI)

Alamat: Jl. Gunung Batu No 5 Bogor

E-mail: [sekred.jppdas@gmail.com](mailto:sekred.jppdas@gmail.com) ; Website: <https://ejournal.aptklhi.org/index.php/JPPDAS/index>

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Editor dan Mitra Bestari yang telah menyunting dan memberi saran yang konstruktif terhadap Karya Tulis Ilmiah dalam Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Volume 8 Nomor 1, 2024.

1. Dr. Agung Budi Supangat, S.Hut., M.T.
2. Dr. Prabang Setyono, S.Si., M.Si
3. Dr. Muhammad Anggri Setiawan, M.Sc.
4. Andry Rustanto, S.Si., M.Sc.
5. Dr. Ir. Hunggul Yudono S.H. Nugroho, M.Si.
6. Dr. Tri Sulistyati Widyaningsih, S. Sos., M.Sc
7. Dr. Yonky Indrajaya, S. Hut., M.T., M. Sc
8. Dr. Ogi Setiawan, S. Hut., M. Sc
9. Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si., M. Sc. Tech

## DAFTAR ISI (CONTENTS)

Judul	Halaman
<b>IDENTIFIKASI BAKTERI PATOGEN SUNGAI BEDADUNG DI JEMBER INDONESIA</b> <i>(Identification of Bedadung River Pathogen Bacteria in Jember, Indonesia)</i> Enny Suswati, Dini Agustina, Rini Riyanti, M. Ali Shodikin, Elly Nurus Sakinah, Desi Sandra Sari, Yuliana MDA, dan Ema Rachmawati _____	1-16
<b>PENGGUNAAN DATA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) UNTUK PEMBUATAN DATA GEOMETRIK DALAM PEMODELAN BANJIR SUNGAI</b> <i>(The Use of UAV Data for Creating Geometric Data in Riverflood Modeling)</i> Wahyu Wisnu Wijaya, Slamet Suprayogi, Andung Bayu Sekaranom, dan Hendy Fatchurohman _____	17-38
<b>DAMPAK DEFORESTASI TERHADAP PRODUKSI LISTRIK PLTA BAKARU SULAWESI SELATAN</b> <i>(An Impact of Deforestation on Electricity Production of The Bakarua Hydropower, South Sulawesi)</i> Rosmaeni, Irlan, dan Widyanti Utami Adhisti _____	39-54
<b>PENGARUH POWER DINAMIKA OSEANOGRAFI TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI MUARA SUNGAI AIR RAMI DAN SELAGAN JAYA, PROVINSI BENGKULU</b> <i>(The Influence of Oceanographic Power Dynamics on Morphological Changes of Air Rami and Selagan Jaya Estuary, Bengkulu Province)</i> Supiyati, Suwarsono, Septi Johan, Dea Apriliani, dan Elmiati _____	55-72
<b>ANALISIS POTENSI KEKERINGAN METEOROLOGIS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CILIWUNG</b> <i>(Analysis Of Meteorological Drought Potential in The Ciliwung River Basin)</i> Dyah Rizky Alyudin, Amanah Anggun Prambandari, Nur Azizah, Kurnia Anggraini, dan Tito Latif Indra _____	73-92
<b>POTENSI PENGEMBANGAN AGROFORESTRI BERBASIS KOPI DI HULU DAS CITARUM</b> <i>(Potential for Development of Coffee-Based Agroforestry in Upper Citarum Watershed)</i> Elfira Rosa Juningsih dan Ary Widiyanto _____	93-112

## JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)

### ABSTRAK

P-ISSN : 2579-6097

Vol. 8 No. 1, 2024

E-ISSN : 2579-5511

Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

Enny Suswati<sup>1</sup>, Dini Agustina<sup>1</sup>, Rini Riyanti<sup>1</sup>, M. Ali Shodikin<sup>1</sup>, Elly Nurus Sakinah<sup>1</sup>, Desi Sandra Sari<sup>2</sup>, Yuliana MDA<sup>2</sup>, dan Ema Rachmawati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Kedokteran, Universitas Jember

<sup>2</sup>Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember

<sup>3</sup>Fakultas Farmasi, Universitas Jember

#### IDENTIFIKASI BAKTERI PATOGEN SUNGAI BEDADUNG DI JEMBER INDONESIA

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 8 No. 1, 2024, p. 1 – 16

Sungai Bedadung merupakan lingkungan yang khas di mana pencemaran akibat aktivitas antropogenik sering terjadi sehingga secara cepat mengubah susunan kimia dan biologi dari sedimen dan air permukaan. Namun, efek urbanisasi pada organisasi dan keanekaragaman komunitas mikroba di sungai belum dipelajari secara memadai. Di sini disajikan pemeriksaan menyeluruh terhadap dispersi mikroba di permukaan air Sungai Bedadung. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui jenis dan prevalensi bakteri patogen dari sampel air Sungai Bedadung Kabupaten Jember. Untuk menyelidiki prevalensi kontaminan bakteri, dipilih enam belas sampel lokasi di sepanjang Sungai Bedadung. Isolasi dan identifikasi bakteri menggunakan media kromogenik seperti Salmonella Chromogenic Agar (SCA) dan Mannitol Salt Agar (MSA). Dengan menggunakan media API E 20, dilakukan verifikasi identifikasi bakteri berdasarkan warna koloni bakteri yang tumbuh. Hasil penelitian ini menunjukkan bakteri pencemar yang diisolasi dari air sungai Bedadung Kabupaten Jember adalah *S. aureus* (96,67%), *E. coli* (98,33%), *Salmonella Salmonella sp.* (96,67%), *Shigella sp.* (40%), dan *Proteus sp.* (1,67%). Temuan ini menunjukkan bahwa sungai adalah sumber bakteri yang signifikan berpotensi risiko terhadap manusia dan lingkungan yang perlu dihilangkan secara memadai. Perlu banyak tindakan yang harus diambil untuk mengurangi pencemaran air sungai oleh tinja.

**Kata kunci:** *Sungai Bedadung; bakteri kontaminan; bahaya lingkungan*

Wahyu Wisnu Wijaya<sup>1,2</sup>, Slamet Suprayogi<sup>3</sup>, Andung Bayu Sekaranom<sup>3</sup>, dan Hendy Fatchurohman<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi MPPDAS Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Solo

<sup>3</sup>Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

<sup>4</sup>Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

#### PENGGUNAAN DATA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) UNTUK PEMBUATAN DATA GEOMETRIK DALAM PEMODELAN BANJIR SUNGAI

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 8 No. 1, 2024, p. 17 – 38

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, pemodelan banjir digunakan untuk menggambarkan fenomena geospasial banjir pada suatu wilayah. Analisis pemodelan banjir menggunakan data geometrik sungai sebagai salah satu masukan. Data geometrik sungai diperoleh melalui analisis citra dan turunan data Digital Elevation Model (DEM). Akurasi dalam pembuatan data geometrik sungai berpengaruh terhadap hasil dari pemodelan. Adanya keterbatasan baik dari biaya yang tinggi dan pengaruh kondisi cuaca dari sumber data satelit membuat teknik fotogrametri dengan drone UAV menjadi banyak diminati. Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Membuat orthofoto dan DEM dengan akurasi yang tinggi dari lokasi daerah banjir, 2). Membuat data geometrik sungai untuk pemodelan banjir, dan 3). Memodelkan banjir sungai dengan software HEC-RAS. Penelitian ini menggunakan software Agisoft Photoscan untuk mengolah foto udara yang dihasilkan. Hasil pengujian akurasi data DEM dan orthofoto diperoleh nilai akurasi vertikal/ Linear Error (LE90) sebesar 1,029 m dan nilai akurasi horizontal/ Circular Error (CE90) sebesar 0,214 m. Orthofoto dan DEM yang dihasilkan memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai input dalam proses pemodelan. Model resolusi yang tinggi yang dihasilkan akan mampu memberikan gambaran fenomena geospasial secara cepat dan akurat. Model banjir yang dihasilkan dengan software HEC-RAS menunjukkan bahwa, banjir menggenangi area seluas 120,14 ha pada periode ulang 2 tahun dan 203,21 ha pada periode ulang 50 tahun.

**Kata kunci:** *agroforestri; Cyrtandra polyneura; Gandang Dewata; mikrohabitat; pangan lokal*

## JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)

### ABSTRAK

P-ISSN : 2579-6097

Vol. 8 No. 1, 2024

E-ISSN : 2579-5511

Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

Rosmaeni<sup>1</sup>, Irlan<sup>1</sup>, dan Widyanti Utami Adhisti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat

#### **DAMPAK DEFORESTASI TERHADAP PRODUKSI LISTRIK PLTA BAKARU SULAWESI SELATAN**

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 8 No. 1, 2024, p. 39 – 54

Deforestasi akan memengaruhi respon hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Perubahan tutupan lahan hutan menjadi non hutan akan mendegradasi fungsi DAS seperti keadaan debit. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak deforestasi di Sub DAS Mamasa terhadap produksi listrik PLTA Bakaru. Metode penelitian ini menggunakan sistem pemodelan Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Model SWAT digunakan untuk menganalisis dampak deforestasi terhadap kondisi debit DAS. Skenario deforestasi ditentukan berdasarkan hasil analisis spasial (overlay) untuk memperoleh data perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan. Terdapat empat skenario deforestasi yang akan digunakan yaitu tidak terjadi deforestasi (0%), deforestasi rendah (20%), deforestasi sedang (40%) dan deforestasi tinggi (60%). Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah Hydrological Response Unit (HRU) akan semakin rendah jika deforestasi semakin meningkat. Penelitian ini juga berhasil menganalisis dampak berbagai macam skenario deforestasi terhadap produksi listrik PLTA Bakaru. Hasil simulasi produksi listrik rata-rata bulanan PLTA Bakaru cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan produksi listrik rata-rata bulanan aktual. Perbedaan produksi listrik PLTA Bakaru untuk semua skenario paling tinggi terjadi pada pada bulan kering dengan rata-rata perbedaan berkisar antara 802.709,64–2.222.293,19 kWh.

**Kata kunci:** skenario deforestasi; SWAT; curah hujan; debit; energi listrik

Supiyati<sup>1</sup>, Suwarsono<sup>1</sup>, Septi Johan<sup>1</sup>, Dea Apriliani<sup>1</sup>, dan Elmiati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Bengkulu, Bengkulu

#### **PENGARUH POWER DINAMIKA OSEANOGRAFI TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI MUARA SUNGAI AIR RAMI DAN SELAGAN JAYA, PROVINSI BENGKULU**

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 8 No. 1, 2024, p. 55 – 72

Provinsi Bengkulu memiliki banyak muara sungai dengan perubahan morfologi yang sangat cepat, menjadi salah satu permasalahan DAS karena dapat memicu terjadinya sedimentasi di bagian hilir. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik dan pengaruh power dinamika oseanografi terhadap perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran in situ parameter dinamika oseanografi, visual foto udara dari drone, dan peta Muara Sungai Air Rami dan Selagan Jaya dari citra satelit USGS Landsat-8. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh karakteristik Muara Sungai Air Rami dan Selagan Jaya memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dengan bilangan formzhal 0,509 di Muara Sungai Air Rami dan 0,491 di Selagan Jaya. Perubahan morfologi muara sungai ini disebabkan oleh terjadinya sedimentasi di muara, yang dipengaruhi oleh interaksi power dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus dari arah hulu DAS, arus pasang surut, longshore current, dan sedimen. Kondisi ini akibat adanya pelemahan arus di mulut muara karena pertemuan arus pasang surut, arus dari arah hulu DAS, dan longshore current sehingga transport sedimen yang diakibatkan longshore current tertahan dan menumpuk di mulut muara. Saat pasang, arus masuk ke muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara. Saat arus surut, kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan mengendap di muara. Selain itu adanya influks sedimen dari hulu DAS yang masuk ke muara juga berkontribusi meningkatkan sedimentasi di muara.

**Kata kunci:** agroforestri; dusung; SWOT; DAS Wai Batu Gajah; keberlanjutan

<b>JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)</b>	
<b>ABSTRAK</b>	
P-ISSN : 2579-6097	Vol. 8 No.1, 2024
E-ISSN : 2579-5511	
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
<p>Dyah Rizky Alyudin<sup>1,2</sup>, Amanah Anggun Prambandari<sup>3,4</sup>, Nur Azizah<sup>5</sup>, Kurnia Anggraini<sup>6</sup>, dan Tito Latif Indra<sup>7</sup></p> <p><sup>1</sup><i>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia</i>  <sup>2</sup><i>Departemen Meteorologi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika</i>  <sup>3</sup><i>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia</i>  <sup>4</sup><i>Badan Informasi Geospasial</i>  <sup>5</sup><i>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia</i>  <sup>6</sup><i>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia</i>  <sup>7</sup><i>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia</i></p> <p><b>ANALISIS POTENSI KEKERINGAN METEOROLOGIS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CILIWUNG</b>  Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 8 No. 1, 2024, p. 73–92</p> <p>Sungai Ciliwung dan Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung memiliki peran penting dalam ketersediaan air di wilayah DAS dan wilayah sekitarnya. Tetapi, keberlanjutan ketersediaan air DAS Ciliwung membutuhkan perhatian dengan adanya ancaman seperti kekeringan. Penelitian mengenai potensi kekeringan adalah salah satu langkah dalam mengantisipasi keberlanjutan ketersediaan air di DAS Ciliwung sekaligus wilayah sekitarnya. Kekeringan secara meteorologis adalah bentuk kekeringan yang mampu dideteksi melalui langkah yang sederhana dengan data curah hujan sebagai data utama. Dengan data curah hujan, analisis potensi kekeringan dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan SPI 3 bulanan, analisis statistik curah hujan dan keterkaitannya dengan fenomena meteorologis yang erat hubungannya dengan kekeringan seperti ENSO. Analisis statistik dan SPI menunjukkan bahwa hampir di semua titik pengamatan memiliki indikasi kekeringan yaitu Cibereum Bogor, Citeko, Gadog, Pinangsia, Pompa Ancol, Waduk Sunter Utara, Cempaka Baru, Bukit Duri, Manggarai dan Kemayoran. Sementara pada Katulampa, terdapat hasil analisis yang berbeda dimana analisis statistik menunjukkan tren penurunan curah hujan sedangkan hasil SPI menunjukkan nilai normal. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan analisis statistik dan SPI dapat saling mendukung satu sama lain. Hampir di seluruh wilayah DAS Ciliwung menunjukkan nilai SPI pada kategori normal hingga kering untuk bulan Oktober 2023 dan bulan November hingga Desember 2023 semakin mengering di beberapa titik Citeko, Depok, Cibereum, Gadog, Manggarai dan Kemayoran. Akan tetapi, SPI dan analisis statistik memiliki kelemahan yaitu adanya ketergantungan pada jumlah data pengamatan curah hujan yang tersedia. Walaupun begitu, kedua analisis ini dapat memberikan gambaran umum pada potensi kekeringan dan tren curah hujan di DAS Ciliwung dengan cukup baik.</p> <p><b>Kata kunci: kekeringan; DAS; SPI; curah hujan; ENSO</b></p>	
<p>Celfira Rosa Juningsih<sup>1</sup> dan Ary Widiyanto<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup><i>Pusat Riset Kependudukan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)</i></p> <p><b>POTENSI PENGEMBANGAN AGROFORESTRI BERBASIS KOPI DI HULU DAS CITARUM</b>  Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 8 No. 1, 2024, p. 93 – 112</p> <p>Budidaya tanaman kopi mempunyai potensi yang sangat besar di wilayah Kabupaten Bandung bagian selatan yang meliputi wilayah hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi pengembangan kopi melalui pola agroforestri dengan pohon pinus dan rimba campur seperti rasamala dan puspa. Penelitian ini menggunakan metode Institutional Analysis and Development (IAD). Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi dan wawancara. Responden adalah anggota Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH) dan informan kunci terdiri dari Pengurus LMDH, Staf Perum Perhutani KPH Bandung Selatan, penyuluh, dan pedagang kopi. Data dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembagaan petani belum terbentuk dengan baik, akses pasar terbuka namun masih terbatas, dan dukungan pemerintah perlu ditingkatkan dalam pendampingan kelompok tani. Hasil lainnya menunjukkan bahwa pengembangan kopi dengan pola agroforestri baik bagi lingkungan dibandingkan penggunaan lahan lain seperti pertanian monokultur. Meskipun memberikan kontribusi terhadap pendapatan petani, budidaya kopi belum mampu menjadi sumber pendapatan utama bagi mayoritas petani. Pendampingan, penyuluhan, modal usaha dan bantuan pemasaran diperlukan untuk memastikan tidak adanya alih fungsi lahan hutan menjadi penggunaan lain dan meningkatnya nilai tambah produk kopi masyarakat.</p> <p><b>Kata kunci: Kopi; Kabupaten Bandung; agroforestri; petani hutan, DAS Citarum</b></p>	

## IDENTIFIKASI BAKTERI PATOGEN SUNGAI BEDADUNG DI JEMBER INDONESIA

### *(Identification of Bedadung River Pathogen Bacteria in Jember, Indonesia)*

Enny Suswati<sup>1\*</sup>, Dini Agustina<sup>1</sup>, Rini Riyanti<sup>1</sup>, M. Ali Shodikin<sup>1</sup>, Elly Nurus Sakinah<sup>1</sup>,  
Desi Sandra Sari<sup>2</sup>, Yuliana MDA<sup>2</sup>, dan Ema Rachmawati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Kedokteran, Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, Indonesia

<sup>3</sup>Fakultas Farmasi, Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, Indonesia

\*Email: [ennysuswati.fk@unej.ac.id](mailto:ennysuswati.fk@unej.ac.id)

Diterima: 30 Mei 2023, Direvisi : 4 Juni 2023, Disetujui : 17 Januari 2024

### ABSTRACT

*The Bedadung River is a typical environment where anthropogenic pollution often occurs thus rapidly changing the chemical and biological composition of the sediments and surface water. However, the effects of urbanization on the organization and diversity of the microbial community in rivers have not been adequately studied. A thorough examination of the microbial dispersion in the Bedadung River's surface water is presented. This research aims to determine the type and prevalence of pathogenic bacteria from Bedadung River water samples, Jember Regency. To investigate the prevalence of bacterial contaminants, sixteen sites along the Bedadung River were chosen. Bacterial isolation and identification using chromogenic media, such as Salmonella Chromogenic Agar (SCA) and Mannitol Salt Agar (MSA). Using API E 20 media, the bacteria were identified based on the color of the bacterial colonies in growth. The results indicated that contaminant bacteria isolated from Bedadung River water in Jember were *S. aureus* (96.67%), *E. coli* (98.33%), *Salmonella sp.* (96.67%), *Shigella sp.* (40%), and *Proteus sp.* (1.67%). These findings indicate that the river was a significant source of bacteria with a risk potential to humans and the environment that must be addressed. Many actions are needed to reduce fecal contamination of river water.*

**Keywords:** *Bedadung River; bacterial contaminant; environmental risk*

### ABSTRAK

Sungai Bedadung merupakan lingkungan yang khas di mana pencemaran akibat aktivitas antropogenik sering terjadi sehingga secara cepat mengubah susunan kimia dan biologi dari sedimen dan air permukaan. Namun, efek urbanisasi pada organisasi dan keanekaragaman komunitas mikroba di sungai belum dipelajari secara memadai. Di sini disajikan pemeriksaan menyeluruh terhadap dispersi mikroba di permukaan air Sungai Bedadung. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui jenis dan prevalensi bakteri patogen dari sampel air sungai

Bedadung Kabupaten Jember. Untuk menyelidiki prevalensi kontaminan bakteri, dipilih enam belas sampel lokasi di sepanjang Sungai Bedadung. Isolasi dan identifikasi bakteri menggunakan media kromogenik seperti *Salmonella Chromogenic Agar* (SCA) dan *Mannitol Salt Agar* (MSA). Dengan menggunakan media API E 20, dilakukan verifikasi identifikasi bakteri berdasarkan warna koloni bakteri yang tumbuh. Hasil penelitian ini menunjukkan bakteri pencemar yang diisolasi dari air sungai Bedadung Kabupaten Jember adalah *S. aureus* (96,67%), *E. coli* (98,33%), *Salmonella Salmonella* sp. (96,67%), *Shigella* sp. (40%), dan *Proteus* sp. (1,67%). Temuan ini menunjukkan bahwa sungai adalah sumber bakteri yang signifikan berpotensi risiko terhadap manusia dan lingkungan yang perlu dihilangkan secara memadai. Perlu banyak tindakan yang harus diambil untuk mengurangi pencemaran air sungai oleh tinja.

**Kata kunci: Sungai Bedadung; bakteri kontaminan; bahaya lingkungan**

## I. PENDAHULUAN

Sungai atau kali yang mengalir melalui kota sering dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan penting untuk bahan limbah, limbah perkotaan, dan limpasan air hujan. Di sisi lain, sungai juga merupakan sumber utama untuk bahan baku air minum dan atau industri di kota-kota. Mikroorganisme yang menghuni ekosistem ini adalah salah satu yang berperan penting dalam siklus biogeokimia bahan organik dan nutrisi, biodegradasi dan biotransformasi polutan, pemulihan dan pemeliharaan kesehatan, dan keseimbangan ekosistem (Wang et al., 2018). Di banyak bagian dunia, sungai berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi negara (Diwan et al., 2018). Sungai menjadi bagian suatu sistem hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS). Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang secara topografis dibatasi oleh punggung pegunungan yang mengumpulkan, menyimpan, dan menyalurkan air hujan ke laut melalui sungai utama atau daerah tangkapan air (DTA), yaitu suatu ekosistem yang unsur utamanya adalah sumber daya alam dan sumber daya manusia (Wibisono, 2021).

Sungai yang terbesar di Kabupaten Jember adalah sungai bedadung. Hulu Sungai Bedadung berada di Gunung Argopuro dan mengalir ke selatan bermuara di Nusa Barong tepatnya di Kecamatan Puger. Daerah tangkapan Sungai Bedadung memiliki luas 1.190 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai utama 48,75 km. Menurut Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Brantas, sungai ini merupakan sumber utama air irigasi, dengan daerah irigasi (DI) seluas 13.245 hektar. PDAM Jember (Setyaningtyas, 2018) menggunakan air sungai Bedadung sebagai air baku. Selain itu masyarakat juga memanfaatkan air sungai tersebut sebagai sarana untuk mencuci, mandi, buang air kecil dan besar bahkan tidak jarang digunakan untuk tempat pembuangan limbah rumah tangga. Akibatnya air sungai menjadi tercemar oleh mikroorganisme seperti bakteri coliform, *Escherichia coli* dan *Streptococcus faecalis* (Irwansyah et al., 2018; Munandar & Eurika, 2016; Puspitasari et al., 2017).

Indeks Kualitas Air (IKA) merupakan indikator kualitas lingkungan dengan beberapa parameter di antaranya adalah

fecal coliform dan total Coliform. Provinsi Jawa Timur mempunyai nilai IKA sebesar 50,79 yang tergolong cukup baik meskipun masih di bawah IKA nasional yaitu 52,62 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Kualitas air sungai yang baik secara mikrobiologi maupun fisik sangat diperlukan mengingat air sungai Bedadung merupakan satu-satunya sumber irigasi pertanian, peternakan, bahkan di sebagian penduduk di wilayah Kabupaten Jember memanfaatkannya sebagai sarana mandi, cuci dan kakus (MCK) secara sekaligus. Kondisi ini berpotensi menjadi sumber penularan penyakit infeksi bagi masyarakat. Kontaminasi tinja pada sumber air merupakan indikator untuk sanitasi dan hygiene yang buruk. Hal ini masih ditemukan di seluruh dunia, terutama di daerah kumuh pada negara berpenghasilan rendah dan menengah. Diare atau *gastroenteritis* adalah salah satu penyebab utama masalah kesehatan, terdapat 1,5 juta kematian disebabkan oleh diare pada tahun 2012 dan 280.000 kematian disebabkan oleh hygiene dan sanitasi yang buruk. Pengembangan dan pengelolaan air yang tidak memadai dianggap sebagai faktor risiko diare di Indonesia (Sari et al., 2018).

Pada tahun 2021, Kabupaten Jember memiliki capaian terendah untuk program “Stop Buang Air Besar sembarangan (BABs)” se-Jawa Timur dengan persentase capaian 15,3% (Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur, 2022). Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh kontaminasi bakteri materi fekal di sungai karena kontaminasi bakteri akan menyebabkan terjadinya penyebaran bakteri patogen.

Sumber bakteri ini berasal dari limbah peternakan, pertanian, dan domestik di lingkungan perairan (Hadi et al., 2018). Sampai saat ini belum ada laporan tentang prevalensi bakteri patogen yang berasal dari air sungai Bedadung Jember. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui jenis dan prevalensi bakteri patogen dari sampel air sungai Bedadung Kabupaten Jember. Penelitian ini diharapkan memberikan edukasi dan wawasan mengenai kontaminasi patogen air Sungai Bedadung Kabupaten Jember, sehingga masyarakat dapat lebih berhati-hati dalam memanfaatkan air Sungai Bedadung.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada September-Desember 2022. Sampel air diambil dari Sungai Bedadung. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Jember.

### B. Bahan dan Alat

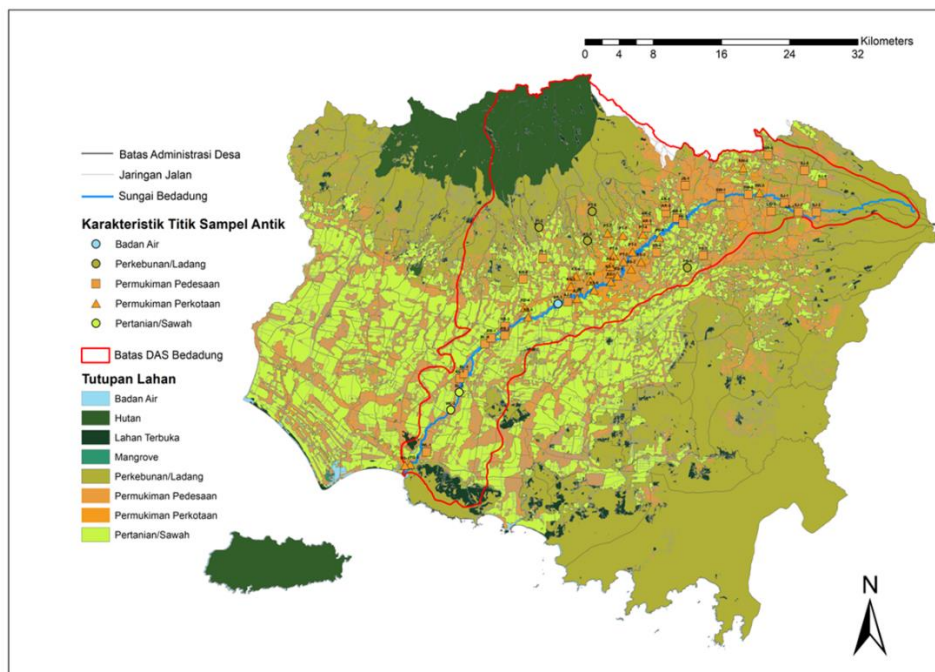
Sampel air diambil dari 16 lokasi yang tersebar di 16 kecamatan (Gambar 1), dengan menggunakan bahan dan alat dapat dilihat pada Tabel 1.

### C. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan pendekatan *cross sectional*. Teknik pengambilan sampel adalah nonprobability sampling dengan metode total sampling. Data yang diperoleh ditabulasikan dan dianalisis menggunakan uji statistik *Chi Square*. Analisis data dilakukan menggunakan aplikasi IBM SPSS (*Statistical Package for*

Tabel (Table) 1. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian (*Tools and materials used in research*)

No.	Alat ( <i>Tools</i> )	Bahan ( <i>Materials</i> )
1	Cawan petri	Media SCA
2	Gelas erlenmeyer	Media NA
3	<i>Beaker glass</i>	Media MH
4	Tabung reaksi dan rak	Akuades steril
5	Bunsen burner	<i>Water for irrigation</i>
6	Lidi kapas steril	Pewarnaan Gram
7	Aluminium foil	Cakram antibiotik
8	Sprit 10 ml	
9	Ose bulat	
10	Timbangan digital	
11	Mikropipet	
12	Autoklaf	
13	Mikroskop binokuler	
14	Jangka sorong	
15	Inkubator 35-37°C	
16	Oven sterilisator	
17	<i>Object glass</i>	
18	Vortex	
20	Laminar air flow	
21	Kompur listrik	



Gambar (Figure) 1. Titik lokasi sampling air Sungai Bedadung Jember (*Bedadung River water sampling location point*)

Sumber (Source): Data Primer (*Primary Data*)

*Social Science*). Interpretasi hasil uji kepekaan bakteri antibiotik disajikan dalam bentuk tabel yang disesuaikan standar pedoman *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)* yang terbagi menjadi kategori sensitif, intermediate, dan resisten (Yunitasari et al., 2019). Prosedur penelitian diawali dengan pembuatan media, dilanjutkan dengan isolasi, identifikasi dan kultur bakteri. Uji resistensi antibiotik menggunakan metode difusi *Kirby-Bauer*. Penelitian ini telah mendapat persetujuan Komisi Etik Fakultas Kedokteran Universitas Jember dengan no surat 1639/H25.1.11/KE/2022.

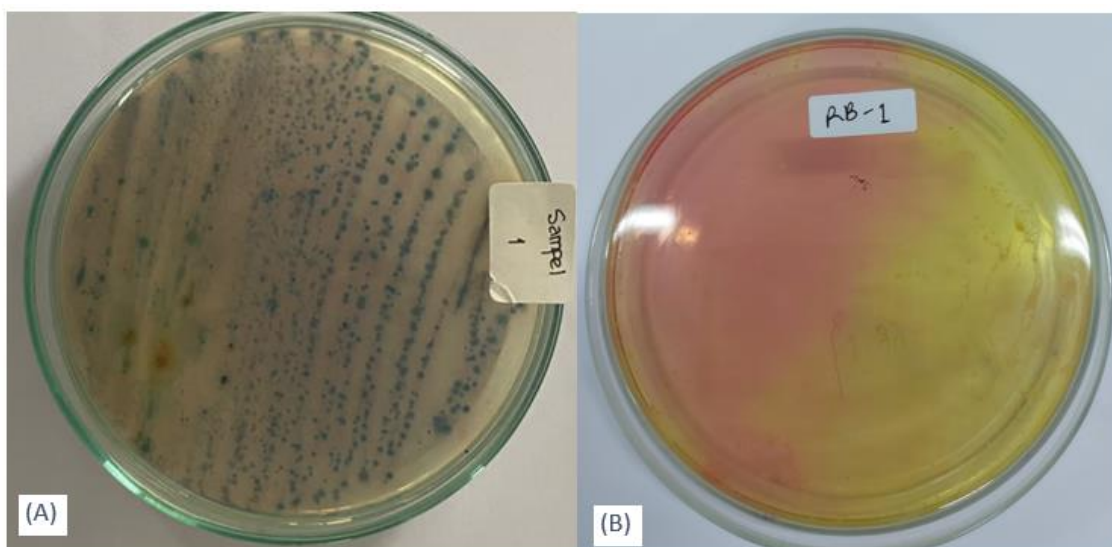
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil

Hasil penelitian ini menemukan 4 spesies bakteri Gram negatif yaitu *Salmonella* sp (96,7%), *Shigella* sp (40%), *Escherichia coli* (*E. coli*) (98,3%), dan

*Proteus* sp (1,7%). Sedangkan bakteri Gram positif hanya ditemukan satu spesies yaitu *Staphylococcus aureus* (*S. Aureus*) (96,7%) (Tabel 2 dan 3; Gambar 2A dan 2B).

*E. coli* (98,3%) mempunyai prevalensi paling tinggi bila dibandingkan dengan prevalensi spesies yang lain yaitu *Salmonella* sp (96,7%), *Shigella* sp (40%), *Proteus* sp (1,7%) dan *S. aureus* (96,7%). *E. coli* ditemukan hampir di semua titik lokasi sampling. Hasil ini cenderung lebih tinggi dari hasil penelitian di tempat lain, yaitu di sungai Sekanak Palembang di mana *E. coli* mempunyai prevalensi 22% (Verawaty et al., 2020), 41,1% di Dumai (Feliatra et al., 2022), 0,03%–0,9% di Sungai Cipeusing Bandung (Suriadikusumah et al., 2021), 66% di Mozambique (Salamandane et al., 2021). Namun hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian di Nigeria di mana hampir semua sampel air positif *E. coli* (Titilawo et al., 2015).



Gambar (Figure) 1. Isolat bakteri pada media tanam (*Bacterial isolat on medium*) (A) SCA (*Salmonella Chromogenic Agar*) (B) MSA (*Mannitol Salt Agar*)

Sumber (Source): Data Primer (*Primary Data*)

Tabel (Table) 2. Identifikasi hasil isolat bakteri gram negatif dari sampel air Sungai Bedadung Kabupaten Jember pada media SCA (*Identification of gram-negative bacterial isolates of Bedadung River water samples in Jember Regency using SCA media*)

Lokasi (Location)	<i>Salmonella</i> sp				<i>Shigella</i> sp				<i>E. coli</i>				<i>Proteus</i>			
	Negative		Positive		Negative		Positive		Negative		Positive		Negative		Positive	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
SS	0	0,0%	4	6,7%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%	4	6,7%	4	6,7%	0	0,0%
PT	0	0,0%	8	13,3%	6	10,0%	2	3,3%	0	0,0%	8	13,3%	8	13,3%	0	0,0%
KS	0	0,0%	7	11,7%	2	3,3%	5	8,3%	0	0,0%	7	11,7%	7	11,7%	0	0,0%
AR	0	0,0%	5	8,3%	3	5,0%	2	3,3%	0	0,0%	5	8,3%	5	8,3%	0	0,0%
RB	0	0,0%	6	10,0%	4	6,7%	2	3,3%	0	0,0%	6	10,0%	6	10,0%	0	0,0%
SR	0	0,0%	1	1,7%	1	1,7%	0	0,0%	0	0,0%	1	1,7%	1	1,7%	0	0,0%
PS	0	0,0%	4	6,7%	2	3,3%	2	3,3%	1	1,7%	3	5,0%	4	6,7%	0	0,0%
P	0	0,0%	2	3,3%	1	1,7%	1	1,7%	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%
SW	0	0,0%	5	8,3%	0	0,0%	5	8,3%	0	0,0%	5	8,3%	4	6,7%	1	1,7%
JB	1	1,7%	0	0,0%	1	1,7%	0	0,0%	0	0,0%	1	1,7%	1	1,7%	0	0,0%
LO	0	0,0%	2	3,3%	1	1,7%	1	1,7%	0	0,0%	5	8,3%	5	8,3%	0	0,0%
SJ	1	1,7%	4	6,7%	4	6,7%	1	1,7%	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%
AJ	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%	0	0,0%	4	6,7%	4	6,7%	0	0,0%
BL	0	0,0%	4	6,7%	4	6,7%	0	0,0%	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%
PG	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%
WL	0	0,0%	2	3,3%	1	1,7%	1	1,7%	0	0,0%	2	3,3%	2	3,3%	0	0,0%
Total	2	3,3%	58	96,7%	36	60,0%	24	40,0%	1	1,7%	59	98,3%	59	98,3%	1	1,7%

Sumber (Source): Data primer (Primary data)

Tabel (Table) 3. Identifikasi hasil isolat bakteri gram positif dari sampel air Sungai Bedadung Kabupaten Jember pada media MSA (*Identification of gram-positive bacterial isolate of Bedadung River water in Jember Regency using MSA media*)

Lokasi (Location)	<i>S. aureus</i>			
	Negative		Positive	
	n	%	n	%
SS	0	0,0%	4	6,7%
PT	1	1,7%	7	11,7%
KS	0	0,0%	7	11,7%
AR	0	0,0%	5	8,3%
RB	0	0,0%	6	10,0%
SR	0	0,0%	1	1,7%
PS	0	0,0%	4	6,7%
P	0	0,0%	2	3,3%
SW	0	0,0%	5	8,3%
JB	0	0,0%	1	1,7%
LO	0	0,0%	5	8,3%
SJ	0	0,0%	2	3,3%
AJ	0	0,0%	4	6,7%
BL	0	0,0%	2	3,3%
PG	0	0,0%	2	3,3%
WL	1	1,7%	1	1,7%
Total	2	3,3%	58	96,7%

Sumber (Source): Data primer (Primary data)

## Pembahasan

Kontaminasi sumber air dengan bakteri indikator feses seperti *E. coli* merupakan tantangan serius karena kemampuannya menularkan penyakit (Widyaningsih et al., 2016). Risiko yang terkait dengan bakteri ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan resistensi mereka terhadap terapi antimikroba. Studi yang dilakukan oleh Titilawo et al. (2015), menunjukkan peningkatan yang tinggi dalam prevalensi isolat *E. coli* yang resistan terhadap beberapa obat dan faktor penentu resistensi yang juga menunjukkan peningkatan risiko kesehatan masyarakat akibat konsumsi air dari sumber yang tidak diolah. Bakteri ini dapat ditularkan dari lingkungan ke manusia melalui jalur langsung maupun tidak langsung (Safitri et al., 2018; Titilawo et al., 2015).

Prevalensi *Salmonella* spp air Sungai Bedadung sebesar 96,7%. Hasil ini hampir sama dengan penelitian di Sungai Lamnyong dan Krueng Aceh 100% (Suhartono et al., 2021), di Sungai Man-Made di Cina ditemukan *Salmonella* sp. sebesar 90% (Song et al., 2018). Namun cenderung lebih besar dari hasil penelitian di Sungai Rangkui Bangka 16,6% (Maghfiroh et al., 2019), Sungai Zarqa Yordania (12,8%), Sungai di Mexico (54,5%) (González-López et al., 2022; Tarazi et al., 2021). Kondisi ini akan dapat meningkatkan risiko infeksi yang ditularkan melalui air termasuk salmonellosis. Meskipun *Salmonella* sp. umumnya ditemukan pada daging, telur, produk unggas, serta produk segar (Liu et al., 2018)

bakteri ini juga terdeteksi pada air permukaan (yang terkontaminasi) (Kadykalo et al., 2020; Massinai et al., 2019). Beberapa hasil studi terhadap adanya mikroorganisme pada aliran sungai dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Sebagian sampel aliran air Sungai Bedadung (40%) tercemari *Shigella* sp. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian di Sungai Rangkui Bangka dengan prevalensi sebesar 16,6% (Maghfiroh et al., 2019) dan di Sungai Kelani Srilangka sebesar 0% (Mahagamage et al., 2020). Keberadaan *Proteus* sp. di lokasi penelitian sebanyak 1,7% lebih kecil dari yang ditemukan di Sungai Situ Letik Bogor sebanyak 99.9% (Afriani et al., 2014). Sedangkan prevalensi *S. aureus* air Sungai Bedadung sebesar 96,7% seperti hasil penelitian di Bandung yang hampir semua sampel dari lingkungan tercemar kotoran sapi yang akhirnya mengalir ke sungai ditemukan *S. aureus* (Waskita et al., 2020)

Sungai di sebagian besar negara berkembang (seperti di Indonesia) berfungsi sebagai jaringan dasar untuk konsumsi manusia dan hewan serta irigasi untuk hasil bumi segar perkotaan. Nilai bakteri patogen yang tinggi Sungai Bedadung menunjukkan potensi risiko terhadap manusia dan lingkungan (Laffite et al., 2016). Air sungai yang terkontaminasi merupakan sumber utama infeksi gastrointestinal dan bertanggung jawab atas banyak penyakit terkait air, dengan *E. coli* digunakan secara luas sebagai salah satu bakteri indikator utama keberadaan feses.

Tabel (Table) 4. Beberapa hasil studi yang menunjukkan adanya mikroorganismen pada sungai (*Results of studies showing the presence of microorganisms in rivers*)

No.	Lokasi ( <i>Location</i> )	Hasil ( <i>Results</i> )	Referensi ( <i>Reference</i> )
1	Sungai Rangkui, Pulau Bangka	<i>Escherichia</i> grup	(Maghfiroh et al, 2019)
2	Daerah Aliran Sungai Citarum	<i>E. coli</i> dan <i>Salmonella</i>	(Zainun & Simbolon, 2012)
3	Sungai Musi	koliform/ <i>E. coli</i>	(Genisa & Auliandari, 2018)
4	Sungai Cikapundung, Jawa Barat	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> , <i>Acinetobacter</i> sp. and <i>Escherichia coli</i>	(Irawati et al., 2019)
5	Sungai Kemisan, Tangerang	enam gram negatif dan dua gram positif	(Irawati et al., 2017)
6	Air Sungai sekitar kampus Bangka Belitung	<i>Salmonella</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , and <i>Escherichia coli</i>	(Deshanda et al., 2019)
7	Sungai Kuin, Banjarmasin	fecal coliform di Sungai Kuin adalah 210/100 ml	(Santy et al., 2017)
8	Pesisir Dumai, Riau	MDR <i>E. coli</i>	(Feliatra et al., 2022)
9	Sungai Ciapus, Bogor, Jawa Barat	<i>Bacillus pumilus</i>	(Kusmiatun et al., 2015)
10	Banda Aceh	multidrug-resistant <i>Salmonella</i> spp.	(Suhartono et al., 2021)
11	Banda Aceh	koliform and <i>E. coli</i>	(Suhartono et al., 2018)
12	Kali Wisu Jepara	<i>E. coli</i>	(Widyaningsih et al., 2016)
13	Sungai Ciliwung	koliform yang ditandai dengan nilai MPN/100 ml sebanyak $\leq 1100$	(Puspitasari et al., 2017)
14	Sungai Karang Mumus, Kota Samarinda	Bakteri <i>E. coli</i> menunjukkan bahwa kandungan bakteri <i>E. coli</i> terendah <30 CFU/100 mL dan yang tertinggi 2100 CFU/100 mL	(Daramusseng & Syamsir, 2021)
15	Sungai Cipeusing	Total Coliform & <i>E. coli</i>	(Suriadikusumah et al., 2021)
16	Muara Sungai Sayung Demak	total bakteri Coliform yang diperoleh berkisar antara $4 \times 10^3 - 550 \times 10^3/100\text{ml}$ . Kelimpahan	(Safitri et al., 2018)
17	Sungai Code Yogyakarta	fecal coliform (FC) seperti <i>Escherichia coli</i> , <i>Vibrio cholera</i> , <i>Shigella</i> sp., <i>Campylobacter jejuni</i> , and <i>Salmonella</i>	(Pratama et al., 2020)
18	Sungai Batang Arau, Sumatra Barat	coliform bacteria (total coliforms, TC, and fecal coliforms, FC)	(Helard et al., 2019)

Salah satu penyebab pencemaran air adalah limbah domestik, yang berasal dari limbah dapur, kamar mandi dan cucian, limbah industri domestik dan limbah manusia. Kontaminasi berbahaya limbah rumah tangga adalah mikroorganismen patogen yang terkandung dalam tinja. Bakteri *E. coli* adalah mikroorganismen yang

paling umum ditemukan di air yang tercemar. Bakteri ini merupakan tanda pencemaran dari limbah rumah tangga atau sanitasi yang buruk (Feliatra et al., 2022; Safitri et al., 2018).

Urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang cepat sangat terkait dengan

penurunan kualitas air permukaan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia pada tahun 2019 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020), 56 % dari 619 stasiun pemantauan di seluruh Indonesia tergolong tercemar berat. Air permukaan yang sangat tercemar sangat terkait dengan instalasi pengolahan air yang terbebani dan penurunan efisiensi pengolahan, seiring dengan penurunan kualitas air minum, dan peningkatan risiko kesehatan masyarakat (Pratama et al., 2020).

Beban pencemaran bakteri di Sungai Bedadung berbeda antar lokasi sampling air sungai. Dari keempat jenis bakteri yang ditemukan, kecamatan Patrang memiliki prevalensi yang tertinggi. Kondisi ini dapat disebut sebagai *point source pollutant* karena lokasi sampling tersebut merupakan salah satu kecamatan yang memiliki rumah sakit daerah tingkat kabupaten. Kemungkinan sumber pencemaran bakteri tersebut berasal dari rumah sakit (Pangestu et al., 2017). Hasil ini sejalan dengan penelitian di sungai Yodo Jepang yang menunjukkan jumlah *S. aureus* banyak ditemukan dari limbah rumah sakit (Azuma et al., 2022). Demikian juga untuk *E. coli* di Republik Ceko (Kutilova et al., 2021), terbukti juga banyak pasien dengan keluhan sakit perut yang berobat ke rumah sakit di Tansani dengan riwayat menggunakan air sungai sebagai sumber air minum (Ngogo et al., 2020).

Sungai dapat menyebarkan bakteri dari berbagai sumber ke hilir. Di lingkungan perairan antropogenik, bakteri dari sumber yang berbeda (pertanian, perkotaan, dan

industri) dapat bercampur dengan polutan tertentu seperti nutrisi, bahan kimia pertanian, logam, antibiotik, limbah rumah tangga, dan residu produk perawatan. Sanitasi dan air diakui sebagai faktor penting dalam penyebaran dan pengelolaan mikroba. Polusi sungai sering menjadi penyebab banyak infeksi yang mengancam jiwa (Muurinen et al., 2022). Beberapa strategi diterapkan untuk meningkatkan kualitas air sungai, terutama mengurangi sumber pencemarnya, memulihkan kualitas air pada badan air (pemurnian kualitas air dan perbaikan hidromorfologi), dan memantau kualitas air yang masuk ke sungai (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Salah satu strategi yang dapat diterapkan dengan meningkatkan debit air sungai Bedadung seperti pemodelan yang diterapkan di sungai Pepe Surakarta mampu meningkatkan parameter kualitas air. Pemodelan pada sungai Pepe disimulasikan dengan menggunakan model QUAL2Kw. Pengukuran kualitas air eksisting dilakukan pada 6 titik pengambilan sampel. Variasi debit suplesi yang digunakan meliputi kondisi eksisting, suplesi 0,5 m<sup>3</sup>/s dan 1 m<sup>3</sup>/s (Rezagama et al., 2019). Selain itu dapat juga menggunakan strategi-strategi berikut, yaitu: mengurangi limbah, termasuk air limbah industri; pembuangan limbah yang benar; mengurangi emisi bahan kimia dari pabrik farmasi; dan penggunaan teknologi yang efektif dalam pengolahan air limbah rumah sakit, kota dan industri, serta penggunaan model *Global Ocean Observing System* yang sesuai untuk

memprediksi distribusi bakteri OTC, logam berat, dan AMR (McCarthy et al., 2021).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan spesies antara lain *E. coli*, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, *Proteus sp.* serta *Staphylococcus aureus* dalam air Sungai Bedadung. Isolat dari air Sungai Bedadung mendapatkan prevalensi *E. coli* (98,3%) paling tinggi dibanding *Salmonella sp.* (96,7%), *Shigella sp.* (40%), *Proteus sp.* (1,7%) dan *S. Aureus* (96,7%).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak LP2M Universitas Jember yang telah memberikan hibah dengan nomor kontrak 3191/UN25.3.1/LT/2023

#### KONTRIBUSI

ES berkontribusi sebagai konseptor dan menyusun kerangka artikel, DA dan ENS mengumpulkan data, RR dan MAS menginterpretasi hasil, DSS menganalisis data, YMDA dan ER menyelesaikan naskah artikel.

#### DAFTAR PUSTAKA

Afriani, R., Rusmana, I., & Budiarti, S. (2014). Characterization of *Proteus mirabilis* lytic phage from Situ Letik River Bogor Indonesia. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*, 2, 2347–3207.

Azuma, T., Murakami, M., Sonoda, Y., Ozaki, A., & Hayashi, T. (2022). Occurrence and Quantitative Microbial Risk Assessment of Methicillin-Resistant *Staphylococcus*

*aureus* (MRSA) in a Sub-Catchment of the Yodo River Basin, Japan. *Antibiotics*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101355>

Daramusseng, A., & Syamsir, S. (2021). Studi Kualitas Air Sungai Karang Mumus Ditinjau dari Parameter *Escherichia coli* Untuk Keperluan Higiene Sanitasi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(1), 1–6. <https://doi.org/10.14710/jkli.20.1.1-6>

Deshanda, R. P., Lingga, R., Hidayati, N. A., Sari, E., & Hertati, R. (2019). Fag *Salmonella* Asal Limbah Pasar Ikan dan Air Sungai di Sekitar Kampus Universitas Bangka Belitung. *Ekotonia: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*, 3(2), 45–49. <https://doi.org/10.33019/ekotonia.v3i2.758>

Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur. (2022). Profil Kesehatan Jawa Timur. In *Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur*.

Diwan, V., Hanna, N., Purohit, M., Chandran, S., Riggi, E., Parashar, V., Tamhankar, A. J., & Stålsby Lundborg, C. (2018). Seasonal variations in water-quality, antibiotic residues, resistant bacteria and antibiotic resistance genes of *Escherichia coli* isolates from water and sediments of the Kshipra River in Central India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1–16.

- <https://doi.org/10.3390/ijerph15061281>
- Feliatra, F., Mardalisa, M., Effendi, I., Adelina, A., & Feliatra, V. A. (2022). Biodiversity of *Escherichia coli* bacterial resistance to multidrug isolated on the Dumai coast of Indonesia. *Biodiversitas*, 23(1), 10–16.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d230102>
- Genisa, M. U., & Auliandari, L. (2018). Sebaran Spasial Bakteri Koliform di Sungai Musi Bagian Hilir. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 35(3), 131–138.  
<https://doi.org/10.20884/1.mib.2018.35.3.750>
- González-López, I., Medrano-Félix, J. A., Castro-Del Campo, N., López-Cuevas, O., González-Gómez, J. P., Valdez-Torres, J. B., Aguirre-Sánchez, J. R., Martínez-Urtaza, J., Gómez-Gil, B., Lee, B. G., Quiñones, B., & Chaidez, C. (2022). Prevalence and Genomic Diversity of *Salmonella enterica* Recovered from River Water in a Major Agricultural Region in Northwestern Mexico. *Microorganisms*, 10(6), 1–17.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10061214>
- Hadi, M. P., Fadlillah, L. N., Widasmara, M. Y., Muziasari, W. I., & Subaryono, S. (2018). Potensi sumber bakteri resisten antibiotik berdasarkan kondisi kualitas air dan penggunaan lahan di Sungai Code, Yogyakarta: suatu tinjauan metodologis. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 2(1), 88–100.  
<https://doi.org/10.36813/jplb.2.1.88-100>
- Helard, D., Indah, S., & Wilandari, M. (2019). Spatial distribution of coliform bacteria in Batang Arau River, Padang, West Sumatera, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 602(1).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/602/1/012062>
- Irawati, W., Ompusunggu, N. P., Susilowati, D. N., & Yuwono, T. (2019). Molecular and physiological characterization of indigenous copper-resistant bacteria from Cikapundung River, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(2), 344–349.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d200206>
- Irawati, W., Riak, S., Sopiah, N., & Sulistia, S. (2017). Heavy metal tolerance in indigenous bacteria isolated from the industrial sewage in kemisan river, tangerang, banten, Indonesia. *Biodiversitas*, 18(4), 1481–1486.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d180426>
- Irwansyah, W., Sahara, E., & Ratnayani, O. (2018). Kandungan Pb dan Cr Total dalam Air serta Bioavailabilitasnya dalam Sedimen di Perairan Sungai Bedadung Jember. *Cakra Kimia Indonesiaan E-Journal of Applied Chemistry*, 7(2), 130–139.

- Kadykalo, S., Thomas, J., Parmley, E. J., Pinter, K., & Fleury, M. (2020). Antimicrobial resistance of *Salmonella* and generic *Escherichia coli* isolated from surface water samples used for recreation and a source of drinking water in southwestern Ontario, Canada. *Zoonoses and Public Health*, *67*(5), 566–575. <https://doi.org/10.1111/zph.12720>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2019. In *Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kusmiatun, A. N. I. K., Rusmana, I. M. A. N., & Budiarti, S. R. I. (2015). Characterization of Bacteriophage Specific to *Bacillus pumilus* from Ciapus River in Bogor, West Java, Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*, *22*(1), 27–33. <https://doi.org/10.4308/hjb.22.1.27>
- Kutilova, I., Medvecký, M., Leekitcharoenphon, P., Munk, P., Masarikova, M., Davidova-Gerzova, L., Jamborova, I., Bortolaia, V., Pamp, S. J., & Dolejska, M. (2021). Extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* and antimicrobial resistance in municipal and hospital wastewaters in Czech Republic: Culture-based and metagenomic approaches. *Environmental Research*, *193*, 110487. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110487>
- Laffite, A., Kilunga, P. I., Kayembe, J. M., Devarajan, N., Mulaji, C. K., Giuliani, G., Slaveykova, V. I., & Poté, J. (2016). Hospital effluents are one of several sources of metal, antibiotic resistance genes, and bacterial markers disseminated in sub-saharan urban rivers. *Frontiers in Microbiology*, *7*(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01128>
- Liu, H., Whitehouse, C. A., & Li, B. (2018). Presence and Persistence of *Salmonella* in Water: The Impact on Microbial Quality of Water and Food Safety. *Frontiers in Public Health*, *6*(May), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00159>
- Maghfiroh, M., Novianti, H., Lukman, & Nurtjahya, E. (2019). Bacterial indicators reveal water quality status of Rangkui River, Bangka Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *380*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/380/1/012008>
- Mahagamage, M. G. Y. L., Pathirage, M. V. S. C., & Manage, P. M. (2020). Contamination status of salmonella spp., *Shigella* spp. and *Campylobacter* spp. in surface and groundwater of the Kelani River Basin, Sri Lanka. *Water (Switzerland)*, *12*(8). <https://doi.org/10.3390/W12082187>
- Massinai, A., Tahir, A., & Abu, N. (2019). High concentrations of pathogenic *Salmonella* spp. during the wet season on bathing beaches in

- Makassar City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 253(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/253/1/012044>
- McCarthy, B., Apori, S. O., Giltrap, M., Bhat, A., Curtin, J., & Tian, F. (2021). Hospital effluents and wastewater treatment plants: A source of oxytetracycline and antimicrobial-resistant bacteria in seafood. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24).  
<https://doi.org/10.3390/su132413967>
- Munandar, K., & Eurika, N. (2016). Keanekaragaman Ikan yang Bernilai Ekonomi dan Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Ikan Sapu-Sapu di Sungai Bedadung Jember. *Seminar Nasional XIII Pendidikan Biologi FKIP UNS 2016*, 13(1), 717–722.
- Muurinen, J., Muziasari, W. I., Hultman, J., Pärnänen, K., Narita, V., Lyra, C., Fadlillah, L. N., Rizki, L. P., Nurmi, W., Tiedje, J. M., Dwiprahasto, I., Hadi, P., & Virta, M. P. J. (2022). Antibiotic Resistomes and Microbiomes in the Surface Water along the Code River in Indonesia Reflect Drainage Basin Anthropogenic Activities. *Environmental Science and Technology*, 56(21), 14994–15006.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01570>
- Ngogo, F. A., Joachim, A., Abade, A. M., Rumisha, S. F., Mizinduko, M. M., & Majigo, M. V. (2020). Factors associated with Salmonella infection in patients with gastrointestinal complaints seeking health care at Regional Hospital in Southern Highland of Tanzania. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.1186/s12879-020-4849-7>
- Pangestu, R., Riani, E., & Effendi, H. (2017). Estimasi Beban Pencemaran Point Source Dan Limbah Domestik Di Sungai Kalibaru Timur Provinsi Dki Jakarta, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 7(3), 219–226.  
<https://doi.org/10.29244/jpsl.7.3.219-226>
- Pratama, M. A., Immanuel, Y. D., & Marthanty, D. R. (2020). A multivariate and spatiotemporal analysis of water quality in Code River, Indonesia. *Scientific World Journal*, 2020.  
<https://doi.org/10.1155/2020/8897029>
- Puspitasari, R. L., Elfidasari, D., Aulunia, R., & Ariani, F. (2017). Studi Kualitas Air Sungai Ciliwung Berdasarkan Bakteri Indikator Pencemaran Pasca Kegiatan Bersih Ciliwung 2015. *JURNAL AI-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 3(3), 156.  
<https://doi.org/10.36722/sst.v3i3.222>
- Rezagama, A., Sarminingsih, A., Rahmadani, A. Y., & Aini, A. N. (2019). Pemodelan Peningkatan Kualitas Air Sungai melalui Variasi Debit Suplesi. *Teknik*, 40(2), 106.

- <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i3.23893>
- Safitri, L. F., Widyorini, N., & Jati, O. E. (2018). Analisis Kelimpahan Total Bakteri Coliform di Perairan Muara Sungai Sayung, Morosari, Demak. *Saintek Perikanan*, 14(1), 30.
- Salamandane, A., Vila-Boa, F., Malfeito-Ferreira, M., & Brito, L. (2021). High fecal contamination and high levels of antibiotic-resistant enterobacteriaceae in water consumed in the city of Maputo, Mozambique. *Biology*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/biology10060558>
- Santy, D. A., Adyatma, S., & Huda, N. (2017). Analisis Kandungan Bakteri Fecal Coliform pada Sungai Kuin Kota Banjarmasin. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2), 51. <https://doi.org/10.22146/mgi.26551>
- Sari, S. Y. I., Sunjaya, D. K., Shimizu-furusawa, H., Watanabe, C., & Raksanagara, A. S. (2018). *Water Sources Quality in Urban Slum Settlement along the Contaminated River Basin in Indonesia : Application of Quantitative Microbial Risk Assessment. 2018.*
- Setyaningtyas, R. (2018). *Pemodelan Debit Sungai Bedadung Menggunakan Metode Autoregressive Moving Average (ARMA )*.
- Song, Q., Zhang, D., Gao, H., & Wu, J. (2018). Salmonella species' persistence and their high level of antimicrobial resistance in flooded man-made rivers in China. *Microbial Drug Resistance*, 24(9), 1404–1411. <https://doi.org/10.1089/mdr.2017.0316>
- Suhartono, S., Ismail, Y. S., & Aini, Z. (2021). Distribution of multidrug-resistant Salmonella spp. recovered from aquatic environment of Banda Aceh, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(2), 881–886. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220243>
- Suhartono, S., Ismail, Y. S., Yulvizar, C., Nursanty, R., Mahyuddin, M., & Jannah, M. (2018). Phenotypic analysis of antibiotic resistant E. coli recovered from urban aquatic environment in Banda Aceh, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 983(1), 0–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/983/1/012194>
- Suriadikusumah, A., Mulyani, O., Sudirja, R., Sofyan, E. T., Maulana, M. H. R., & Mulyono, A. (2021). Analysis of the water quality at Cipeusing river, Indonesia using the pollution index method. *Acta Ecologica Sinica*, 41(3), 177–182. <https://doi.org/10.1016/J.CHNAES.2020.08.001>
- Tarazi, Y. H., Al Dwekat, A. F., & Ismail, Z. B. (2021). Molecular characterization of Salmonella spp. isolates from river and dam water, irrigated vegetables, livestock, and poultry manures in Jordan. *Veterinary World*, 14(3), 813–819. <https://doi.org/10.14202/VETWORL D.2021.813-819>

- Titilawo, Y., Obi, L., & Okoh, A. (2015). Antimicrobial resistance determinants of *Escherichia coli* isolates recovered from some rivers in Osun State, South-Western Nigeria: Implications for public health. *Science of the Total Environment*, 523, 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.095>
- Verawaty, M., Apriani, N., Tarigan, L. R., Aprian, E. T., Laurenta, W. C., & Muharni. (2020). Antibiotics resistant *Escherichia coli* isolated from aquatic ecosystems in Palembang, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(1), 86–97. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210113>
- Wang, L., Zhang, J., Li, H., Yang, H., Peng, C., Peng, Z., & Lu, L. (2018). Shift in the microbial community composition of surface water and sediment along an urban river. *Science of the Total Environment*, 627(1), 600–612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.203>
- Waskita, P. T., Balia, R., Joy, B., Utama, G. L., & Novianto, A. (2020). Antibiotic Resistance Analysis of *Staphylococcus Aureus* as a Main Cause of Mastitis in The Southern Region of Bandung Regency. *LXIII(1)*, 240–246.
- Wibisono, K. (2021). Monitoring Kinerja DAS Bedadung Kabupaten Jember, Jawa Timur. *Jurnal Geografi*, 18(1), 52–59. <https://doi.org/10.15294/jg.v18i1.25964>
- Widyaningsih, W., Widyorini, N., Studi, P., Sumberdaya, M., Diponegoro, U., & Coliform, B. (2016). Analisis Total Bakteri Coliform di Perairan Muara Kali Wisu Jepara. 5, 157–164.
- Yunitasari, E., Triningsih, A., & Pradani, R. (2019). Analysis Of Mother Behavior Factor In Following Program Of Breastfeeding Support Group In The Region Of Asemrowo Health Center Surabaya. *Nurseline Journal*, 4(2), 95–102.
- Zainun, Z., & Simbolon, K. (2012). Analisis Total Coliform, Faecal Coliform, *Escherichia coli* dan *Salmonella* di Daerah Aliran Sungai Citarum. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, April, 59–62.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PENGGUNAAN DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV)  
UNTUK PEMBUATAN DATA GEOMETRIK DALAM PEMODELAN BANJIR SUNGAI**

***(The Use of UAV Data for Creating Geometric Data in Riverflood Modeling)***

Wahyu Wisnu Wijaya<sup>1,2\*</sup>, Slamet Suprayogi<sup>3</sup>, Andung Bayu Sekaranom<sup>3</sup>, dan Hendy Fatchurohman<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi MPPDAS Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

<sup>2</sup>Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Solo, Jl. Jend. A. Yani Pabelan PO BOX 295 Surakarta 57102

<sup>3</sup>Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

<sup>4</sup>Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

\*Email: [wahyuwisnuwijaya@gmail.com](mailto:wahyuwisnuwijaya@gmail.com)

Diterima: 11 Januari 2024, Direvisi: 26 Februari 2024, Disetujui: 18 Maret 2024

**ABSTRACT**

*In the last 10 years, flood modeling has been used to describe the geospatial phenomenon of flooding in an area. Flood modeling analysis uses river geometric data as one of the inputs. River geometric data is obtained through image analysis and Digital Elevation Model data derivatives. Accuracy in creating river geometric data influences the modeling results. The limitations of both high cost and the influence of weather conditions from satellite data sources made photogrammetry techniques using UAV drones increasingly popular. This research aims to: 1). Create orthophotos and DEM with high accuracy of the location of flood areas, 2). Creating river geometric data for flood modeling, and 3). Modeling river floods with HEC-RAS software. This research uses Agisoft Photoscan software to process the resulting aerial photos. The results of testing the accuracy of DEM and orthophoto data obtained a vertical accuracy/ Linear Error (LE90) value of 1.029 m and a horizontal accuracy/ Circular Error (CE90) value of 0.214 m. The resulting orthophoto and DEM have high accuracy so they can be used as input in the modeling process. The result of high-resolution model will be able to provide a quick and accurate picture of geospatial phenomena. The flood model produced using HEC-RAS software shows that floods inundate an area of 120.14 ha in a return period of 2 years and 203.21 ha in a return period of 50 years.*

**Keywords: UAV, orthophoto, DEM, geometric data, flood modeling**

## ABSTRAK

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, pemodelan banjir digunakan untuk menggambarkan fenomena geospasial banjir pada suatu wilayah. Analisis pemodelan banjir menggunakan data geometrik sungai sebagai salah satu masukan. Data geometrik sungai diperoleh melalui analisis citra dan turunan data *Digital Elevation Model* (DEM). Akurasi dalam pembuatan data geometrik sungai berpengaruh terhadap hasil dari pemodelan. Adanya keterbatasan baik dari biaya yang tinggi dan pengaruh kondisi cuaca dari sumber data satelit membuat teknik fotogrametri dengan drone UAV menjadi banyak diminati. Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Membuat orthofoto dan DEM dengan akurasi yang tinggi dari lokasi daerah banjir, 2). Membuat data geometrik sungai untuk pemodelan banjir, dan 3). Memodelkan banjir sungai dengan *software* HEC-RAS. Penelitian ini menggunakan *software* Agisoft Photoscan untuk mengolah foto udara yang dihasilkan. Hasil pengujian akurasi data DEM dan orthofoto diperoleh nilai akurasi vertikal/ *Linear Error* (LE90) sebesar 1,029 m dan nilai akurasi horizontal/ *Circular Error* (CE90) sebesar 0,214 m. Orthofoto dan DEM yang dihasilkan memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai input dalam proses pemodelan. Model resolusi yang tinggi yang dihasilkan akan mampu memberikan gambaran fenomena geospasial secara cepat dan akurat. Model banjir yang dihasilkan dengan *software* HEC-RAS menunjukkan bahwa, banjir menggenangi area seluas 120,14 ha pada periode ulang 2 tahun dan 203,21 ha pada periode ulang 50 tahun.

**Kata kunci : UAV, orthofoto, DEM, data geometrik, pemodelan banjir**

### I. PENDAHULUAN

Peristiwa banjir merupakan salah satu kejadian/ fenomena geospasial yang paling sering terjadi di Indonesia. Selama periode 2020 – 2021, bencana banjir mendominasi sebagai bencana nasional tertinggi di Indonesia (BNPB, 2022a). Proses banjir terjadi ketika debit air yang mengalir pada suatu saluran/ sungai melebihi kapasitas penampungannya. Banjir yang terjadi dapat berupa banjir genangan pada lahan seperti lahan pertanian, permukiman, dan pusat perkotaan (Rosyidie, 2013). Salah satu upaya untuk memahami fenomena geospasial yakni dengan memodelkan kejadian banjir secara spasial sehingga akan lebih mudah dipahami.

Pemodelan banjir dapat digunakan untuk menggambarkan fenomena banjir dalam sistem Daerah Aliran Sungai (DAS). Pemodelan banjir memerlukan beberapa data di antaranya data terkait kondisi spasial wilayah kajian dan data hidrologi. Pemodelan banjir mengadopsi integrasi antara *software* pemodelan hidrologi dengan data spasial dalam Sistem Informasi Geografis (SIG), yang kemudian dikembangkan menjadi model tertentu untuk beragam tujuan (Marfai, 2003). Salah satu model yang digunakan dalam analisis banjir adalah Model Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS). Model HEC-RAS banyak digunakan oleh peneliti untuk kajian banjir khususnya dalam pembuatan peta risiko

dan bahaya banjir (Ntanganedzeni & Nobert, 2021; Thapa *et al.*, 2020), serta prediksi banjir pada berbagai periode ulang (Suprayogi *et al.*, 2020; Nharo *et al.*, 2019; Sunarko *et al.*, 2011). Dalam prosesnya, model HEC-RAS membutuhkan input data berupa data geometrik sungai.

Dewasa ini, penggunaan data spasial untuk analisis banjir telah banyak digunakan oleh peneliti khususnya di Indonesia (Suprayogi *et al.*, 2020; Wigati *et al.*, 2016; Sunarko *et al.*, 2011). Kebutuhan akan data spasial khususnya data geometrik sungai untuk kepentingan analisis pemodelan menjadi sangat penting. Untuk mendapatkan data geometrik sungai dilakukan dengan teknik fotogrametri melalui akuisisi data foto udara menggunakan pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle* atau UAV). UAV atau yang lebih dikenal dengan istilah drone merupakan alat yang efektif sebagai wahana untuk merekam foto. Di era sekarang ini, penggunaan UAV cenderung meningkat karena efisiensi biaya dan kemudahan penggunaan dengan tujuan untuk pemetaan, pengawasan maupun inspeksi (Kristiawan *et al.*, 2017).

Teknik fotogrametri dengan memanfaatkan data UAV drone merupakan teknologi penginderaan jauh yang sangat bagus untuk saat ini dalam upaya memperoleh data informasi geospasial yang terukur dan cepat (Kristiawan *et al.*, 2017). Hasil dari fotogrametri ini berupa orthofoto yang selanjutnya diolah menjadi *Digital Elevation Model* (DEM). Data tersebut dapat digunakan sebagai salah satu input data pada pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS. Dalam analisis

banjir, orthofoto dan DEM merupakan data yang sangat penting karena hasil analisis DEM menggambarkan bentuk dan ukuran suatu DAS dalam menerima air hujan yang masuk (Kristiawan *et al.*, 2017). Seiring dengan perkembangan teknologi, fotogrametri menggunakan data UAV merupakan salah satu pilihan terbaik dalam menyediakan data DEM beserta turunannya.

Dalam kurun waktu 5 tahun terakhir, bencana banjir merupakan bencana dengan potensi ancaman terbesar di DAS Jerowan (BNPB, 2022b). DAS Jerowan merupakan bagian dari DAS Kali Madiun sebagai bagian hulu dari DAS Bengawan Solo. Beberapa kecamatan yang dilalui aliran Sungai Jerowan diantaranya adalah Balerejo, Pilangkenceng, Saradan, dan Mejayan. Upaya pengelolaan terhadap potensi dampak banjir perlu dilakukan untuk mengurangi ancaman banjir terhadap kehidupan manusia. Penggunaan data yang detail dan akurat dalam model banjir akan lebih meningkatkan sensitivitas model banjir dalam menjelaskan fenomena geospasial yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Membuat orthofoto dan DEM dengan akurasi yang tinggi dari lokasi daerah banjir, 2). Membuat data geometrik sungai untuk pemodelan banjir, dan 3). Memodelkan banjir sungai dengan *software* HEC-RAS.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Waktu kegiatan akuisisi data UAV dilaksanakan pada Januari tahun 2023. Lokasi kajian terletak di bagian hilir Sungai Jerowan, secara administratif mencakup

Desa Glonggong dan Desa Garon, Kecamatan Balerejo. Sungai Jerowan merupakan bagian dari DAS Kali Madiun. Pada bagian hilir merupakan daerah dataran banjir dengan topografi yang relatif datar. Luas daerah yang dipetakan sebesar 4,27 km<sup>2</sup> dan disajikan dalam Gambar 1.

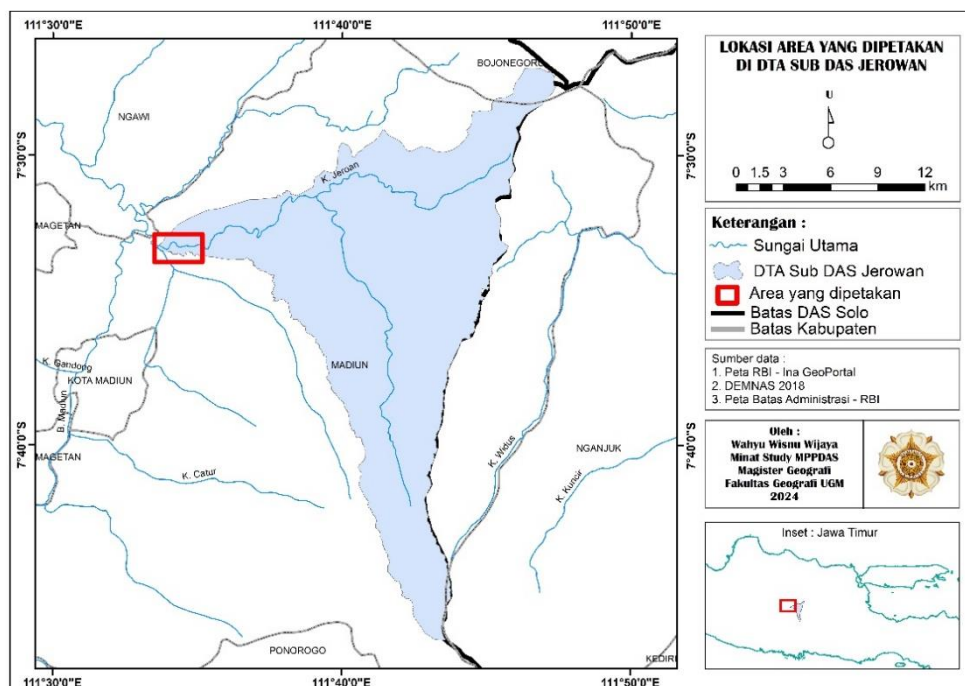
### B. Bahan dan Alat

Kajian ini menggunakan bahan diantaranya adalah: (1) Data foto udara dari hasil pemotretan menggunakan UAV, (2) Data kalibrasi kamera dan lokasi kamera, (3) Data koordinat titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP) serta data titik acuan dari pengukuran menggunakan GPS Geodetik, (4) Data curah hujan harian maksimum untuk analisis hidrologi dari satelit *Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS), dan (5) Data nilai koefisien kekasaran Manning. Kajian ini menggunakan

peralatan diantaranya adalah: (1) Drone merk *Dji Mavic Pro 2*, (2) *GPS Geodetic NavCom*, (3) Seperangkat komputer, (4) *Software Agisoft Photoscan*, (5) *Software ArcGIS*, (6) *Software HEC-GeoRAS*, (7) *Software PCI Geomatika*, (8) *Software HEC-RAS*, dan (9) *Software Microsoft Excel*.

### C. Metode Penelitian

Analisis pemodelan banjir dilakukan menggunakan *software* HEC-RAS pada skala segmen sungai di bagian hilir. Bagian hilir merupakan bagian Sub DAS dengan kemiringan lereng yang cenderung landai yang sering terjadi banjir. Ada beberapa tahap dalam proses pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS. Tahapan tersebut meliputi pembuatan data geometrik sungai, input data debit maksimum, input data koefisien kekasaran Manning, dan pembuatan simulasi pemodelan banjir dengan metode *Steady Flow Analysis* (Suprayogi *et al.*, 2020).



Gambar (Figure) 1. Area yang dipetakan (*Mapped area*)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Data debit maksimum sungai diperoleh melalui analisis hidrologi hujan menjadi limpasan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I. Penggunaan HSS Gama I merupakan upaya untuk memperoleh nilai hidrograf satuan pada suatu DAS yang belum pernah diukur (Andiese, 2012). Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan nilai debit banjir rencana berdasarkan nilai analisis frekuensi curah hujan maksimum di lokasi penelitian.

Penentuan nilai koefisien kekasaran Manning didasarkan pada data topografik survei yang didukung dengan data dari foto udara UAV. Foto udara drone aktual digunakan sebagai dasar untuk melakukan klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan untuk menentukan nilai  $n$ . Data koefisien kekasaran Manning disajikan pada Tabel 1 dengan nilai  $n$  bergantung pada saluran dengan bahan pembentuk saluran yang berbeda berdasarkan klasifikasi penggunaan lahannya. Nilai koefisien kekasaran Manning pada lokasi penelitian disesuaikan berdasarkan penelitian Chow (1959) dan Marfai (2003).

Pembuatan data geometrik sungai menggunakan teknik fotogrametri untuk menghasilkan data dengan akurasi tinggi pada skala 1 : 1.000. Model dimensi sungai diperoleh dari hasil pengukuran segmen sungai pada *software* ArcGIS dengan memanfaatkan data DEM dan orthofoto dari UAV. Alur pelaksanaan penelitian meliputi kegiatan pengambilan data di lapangan, pengolahan data, dan analisis. Penentuan area yang dipetakan

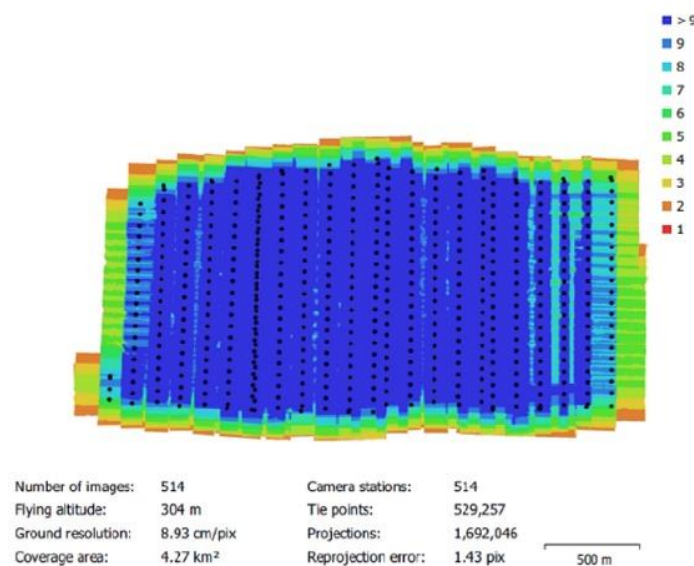
disesuaikan dengan kebutuhan penelitian dan sumber daya yang digunakan. Model banjir yang akan dibuat disesuaikan dengan luas orthofoto yang dihasilkan. Kegiatan lapangan meliputi akuisisi data foto udara menggunakan UAV drone yang telah terpasang kamera. Kamera yang bagus mampu menghasilkan kualitas geometri yang tinggi sehingga berpengaruh terhadap keakuratan posisi dari citra yang dihasilkan (Hamur *et al.*, 2019). Persiapan pertama yang dilakukan yakni merencanakan jalur terbang drone dan dibagi menjadi 4 jalur terbang. Penerbangan dilakukan selama durasi 10-15 menit per jalur. Proses menerbangkan drone dilakukan saat cuaca cerah sehingga meminimalisir adanya kabut yang menghalangi pandangan. Drone diterbangkan pada ketinggian 304 m untuk mendapatkan gambar yang jelas dan detail sesuai dengan resolusi yang diinginkan. Desain jalur terbang dengan lokasi kamera serta jumlah gambar overlap disajikan dalam Gambar 2.

Foto udara yang diambil dengan drone selanjutnya diseleksi dalam teknik fotogrametri. Foto tersebut selanjutnya diolah dengan menggunakan *software* Agisoft Photoscan. Untuk melakukan koreksi elevasi/ topografi digunakan marker atau *Ground Control Point* (GCP) yang diukur dengan GPS Geodetik. Hasil pengukuran GCP berupa koordinat  $x$  dan  $y$  sebagai koordinat referensi. Pada penelitian ini menggunakan 5 titik GCP dan 4 titik *Independent Check Point* (ICP) untuk proses ortorektifikasi.

Tabel (Table) 1. Nilai Koefisien Kekasaran Manning (*Manning Roughness Coefficient Value*)

Lokasi ( <i>Location</i> )	Penutupan lahan ( <i>Landcover</i> )	Koefisien Manning ( <i>Manning Coefficient</i> ) (n)
Sungai (tipe natural <i>channel</i> )	Bersih, aliran lurus	0,030
	Bersih, aliran berliku	0,040
	Berliku dengan rumput liar	0,050
Dataran banjir	Permukiman/ area terbangun	0,013
	Pertanian lahan kering	0,05
	Sawah	0,04
	Padang rumput	0,035
	Semak belukar	0,070
	Hutan	0,100

Sumber (*Source*): Chow (1959) dan Marfai (2003)



Gambar (Figure) 2. Lokasi kamera dan jumlah gambar overlap (*Camera location and number of overlapping images*)

Sumber (*Source*): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tahapan pengolahan data foto udara menggunakan *software* Agisoft Photoscan dijabarkan sebagai berikut (Hamur *et al.*, 2019):

1. Penambahan foto udara  
Melalui fungsi *add foto*, hasil foto drone UAV dibuka dan disusun sesuai urutan jalur terbang.
2. Penyesuaian kesamaan titik foto  
Melalui fungsi *align foto*, 2 atau lebih foto dengan titik yang sama akan disatukan sehingga menghasilkan model 3D awal dengan posisi lokasi

kamera, serta *sparse point clouds* yang digunakan pada tahap selanjutnya.

3. Penambahan koordinat GCP  
Model 3D yang telah dibuat sebelumnya kemudian diberikan koordinat X, Y, Z sebagai koordinat referensi.
4. Pembuatan *dense clouds*  
*Dense clouds* dibuat dari sekumpulan titik tinggi dari foto udara yang diproses.

5. Pembuatan *mesh*  
*Build mesh* merupakan proses pembangunan model 3D yang digunakan untuk proses selanjutnya.
6. Pembuatan *texture*  
Proses pembentukan model fisik 3D berdasarkan pada kondisi visual area liputan foto.
7. Pembuatan DEM  
DEM merupakan model yang menggambarkan ketinggian permukaan dalam format raster. DEM yang dibuat merupakan data *Digital Surface Model* (DSM).
8. Pembuatan *orthomosaic*  
Orthofoto merupakan foto udara yang telah dikoreksi sehingga mempunyai koordinat referensi.

Tujuan pertama dari penelitian yakni melakukan uji ketelitian hasil orthofoto. Pengujian ketelitian hasil orthofoto meliputi uji ketelitian posisi horizontal dan vertikal. Teknik perhitungan parameter uji mengacu pada Perka BIG No. 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Hasil uji akurasi akan mendapatkan nilai LE90 dan CE90. Perhitungan nilai CE90 dan LE90 menggunakan rumus sebagai berikut (BIG, 2014):

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \quad (1)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \quad (2)$$

dengan:

$RMSEr = \text{Root Mean Square Error}$  pada posisi x dan y (horizontal)

$RMSEz = \text{Root Mean Square Error}$  pada posisi z (vertikal)

Perhitungan rumus untuk  $RMSEr$  dan  $RMSEz$  dilakukan dengan bantuan

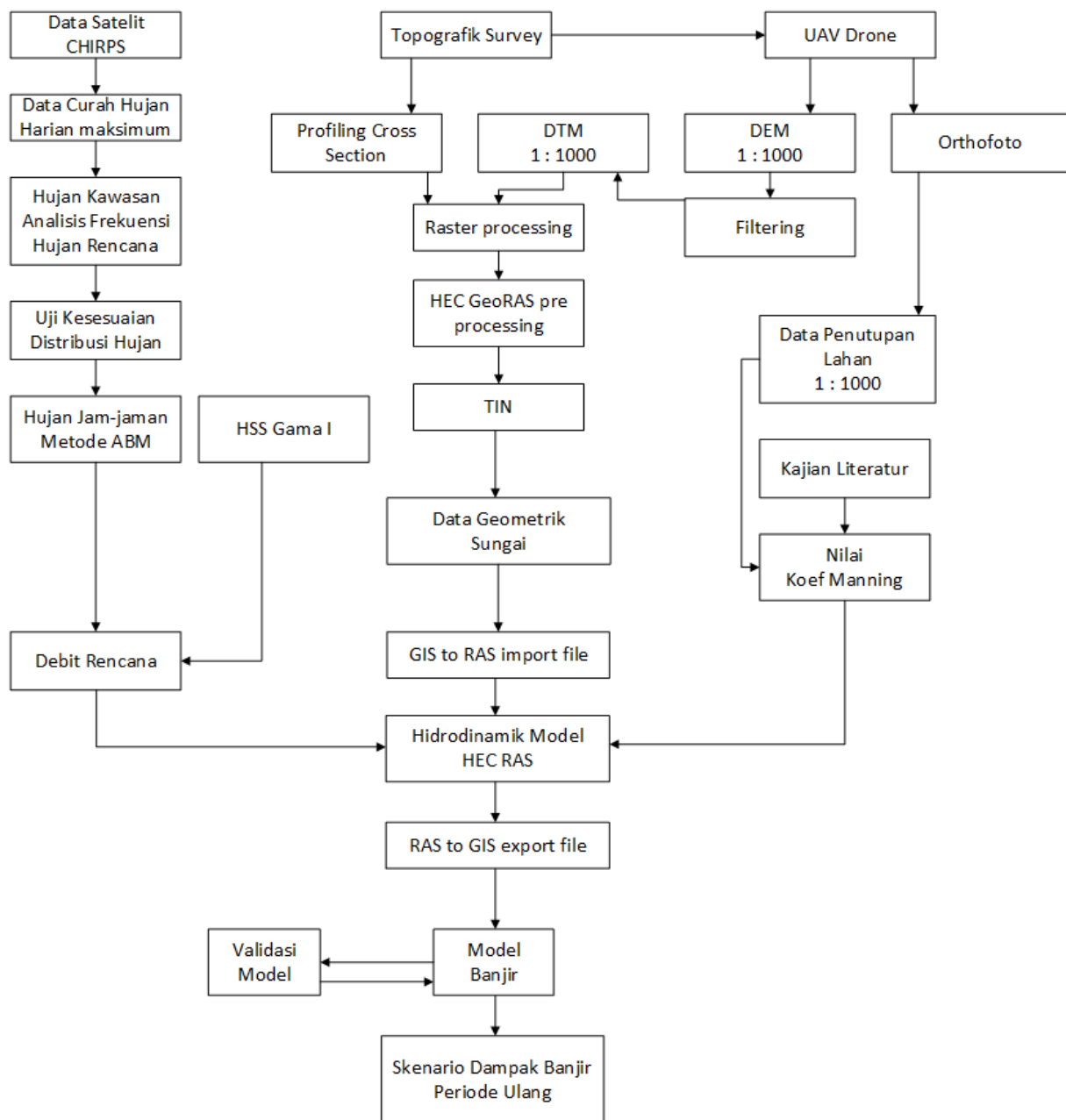
*software* Microsoft Excel dan hasilnya ditampilkan dalam tabel. Nilai  $RMSEr$  dan  $RMSEz$  menggambarkan perbedaan posisi koordinat X, Y, dan Z baik pada orthofoto maupun pada titik pengukuran dari GPS geodetik.

Pembuatan data geometri sungai sebagai input dari *software* HEC-RAS, membutuhkan data citra drone UAV yang diolah menjadi foto vertikal (orthofoto) dan DEM. Data DEM yang digunakan selanjutnya diolah menjadi DTM (*Digital Terrain Model*) sebagai data *terrain* dengan ketinggian vegetasi dan bangunan yang telah dihilangkan. Pengolahan DTM menggunakan *software* PCI Geomatika. Dalam proses pembuatan model dimensi sungai, penggunaan ekstensi HEC-GeoRAS dalam ArcGIS mempermudah pengguna dalam melakukan analisis. HEC-GeoRAS memungkinkan pengguna untuk dapat memproses data geospasial menjadi data GIS yang dapat dibaca oleh HEC-RAS sebagai data geometri sungai. HEC-GeoRAS membaca hasil simulasi aliran oleh HEC-RAS dan dapat diekspor untuk ditampilkan dalam bentuk peta spasial di ArcGIS (Makasaehe *et al.*, 2020). Pada tahapan data entri untuk pemodelan membutuhkan data yang terdiri dari informasi sistem sungai, potongan melintang sungai, data struktur hidrolis, dan data *terrain*. Pada tahapan ini akan dihasilkan skematisasi sistem sungai yang akan dianalisis.

Pemodelan banjir menggunakan skema periode ulang 2 tahun dan 50 tahun. Model HEC-RAS digunakan untuk menggambarkan sebaran banjir dalam kondisi aliran air permanen (*Steady Flow*). Peta genangan banjir yang dihasilkan,

dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan area rawan banjir dengan melakukan overlay dengan peta tematik lainnya. Terdapat lima langkah penting dalam membuat model hidraulika dengan HEC-RAS yaitu: 1) pembuatan *project*, 2)

memasukkan data geometri, 3) memasukkan hidrolika sungai, 4) melakukan perhitungan hidraulika, dan 5) menampilkan hasil perhitungan (Hidayah, 2021). Alur proses pemodelan ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar (Figure) 3. Alur proses pemodelan (Modeling process flow)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

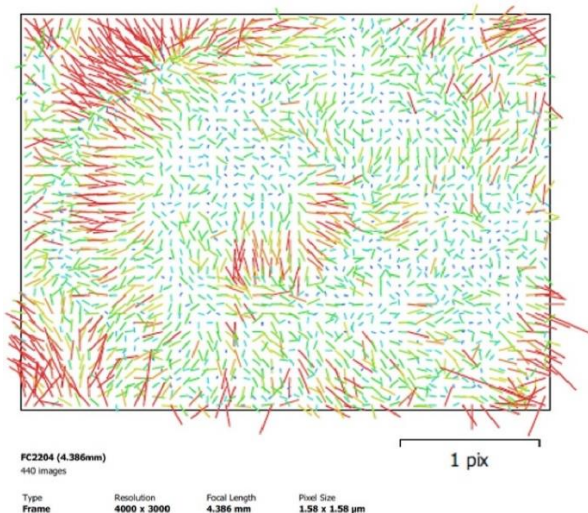
#### a. Pembuatan Orthofoto dan DEM

Akuisisi data drone menghasilkan foto sebanyak 514 gambar. Selanjutnya pengolahan foto udara dilakukan dengan menggunakan *software* Agisoft. Pada tahap awal pemrosesan data, hasil akurasi data akan keluar secara otomatis melalui algoritma *software*. Pada tahapan selanjutnya, perlu dilakukan uji ketelitian orthofoto dan DEM yang dihasilkan agar memenuhi standar teknis ketelitian yang digunakan untuk pemetaan.

Hasil pengambilan gambar untuk keperluan pengukuran dan pemetaan menggunakan kamera memungkinkan akan terjadi kesalahan karena kamera bukan merupakan suatu alat ukur. Kalibrasi kamera perlu dilakukan untuk mengoreksi kesalahan pengukuran dan menentukan besarnya penyimpangan (distorsi) pada lensa kamera. Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan teknik *laboratory calibration* yang menghasilkan parameter IO (*Interior*

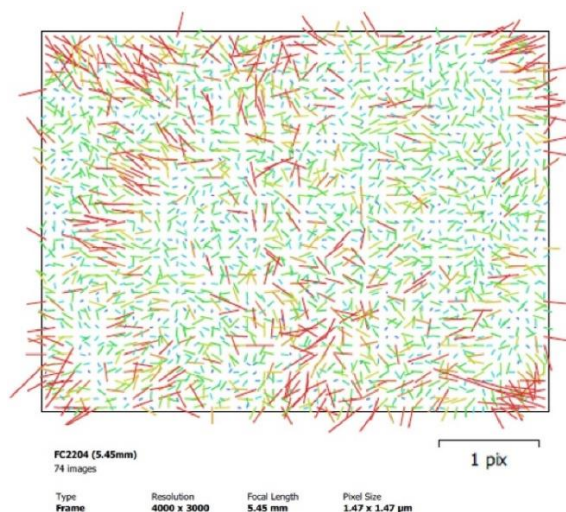
*Orientation*). Nilai parameter IO yang dihasilkan pada *software* Agisoft Photoscan berupa nilai panjang fokus kamera (F), nilai *principal distance* (C), koordinat *principal point* (x, y), nilai distorsi lensa (K1, K2, K3) berupa koefisien sistematis distorsi radial, dan nilai koefisien distorsi *decentering* (P1, P2).

Distorsi pada lensa kamera ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Sisa efek residu foto masih dapat ditemukan dengan distorsi yang menyebar. Distorsi lensa mempengaruhi ketelitian pengukuran tetapi tidak mempengaruhi kualitas ketajaman foto. Distorsi foto menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya (Situmorang, 2019). Hasil kalibrasi dari kedua tipe kamera disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Setelah pemrosesan dengan *software* Agisoft Photoscan, dapat dikatakan nilai parameter kamera stabil dan memiliki akurasi yang tinggi dengan nilai *error* masing-masing 0,82 dan 2,2.



Gambar (Figure) 4. Image Residual untuk FC2204 (4,386mm)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 5. Image Residual untuk FC2204 (5,45mm)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 2. Nilai *Calibration Coefficients* dan *Correlation Matrix* untuk *Focal Length* 4,386

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3045,34	0,82	1,0 0	-0,22	-0,07	-0,34	0,28	-0,32	-0,12	0,02
Cx	-28,0929	0,18		1,00	0,11	0,05	-0,03	0,04	-0,09	-0,04
Cy	-3,95329	0,16			1,00	0,02	-0,02	0,02	-0,03	-0,15
K1	-0,0403786	6,7e-005				1,00	-0,97	0,92	0,02	-0,01
K2	0,056746	0,00022					1,00	-0,98	-0,01	0,00
K3	-0,044782	0,00023						1,00	0,01	-0,01
P1	-0,00254304	3,9e-006							1,00	-0,03
P2	-0,000105195	3,8e-006								1,00

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tabel (Table) 3. Nilai *Calibration Coefficients* dan *Correlation Matrix* untuk *Focal Length* 5,45 mm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3721,27	2,2	1,00	-0,10	-0,06	-0,18	0,29	-0,37	-0,12	0,01
Cx	-20,9846	0,78		1,00	0,04	-0,06	0,07	-0,07	0,11	0,01
Cy	-3,39917	0,61			1,00	0,01	-0,01	0,01	0,01	0,20
K1	-0,0355637	0,00027				1,00	-0,95	0,89	0,01	-0,02
K2	0,160523	0,0013					1,00	-0,98	-0,03	0,02
K3	-0,22024	0,0021						1,00	0,03	-0,01
P1	-0,00277999	1,3e-005							1,00	0,01
P2	9,38648e-006	1,5e-005								1,00

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

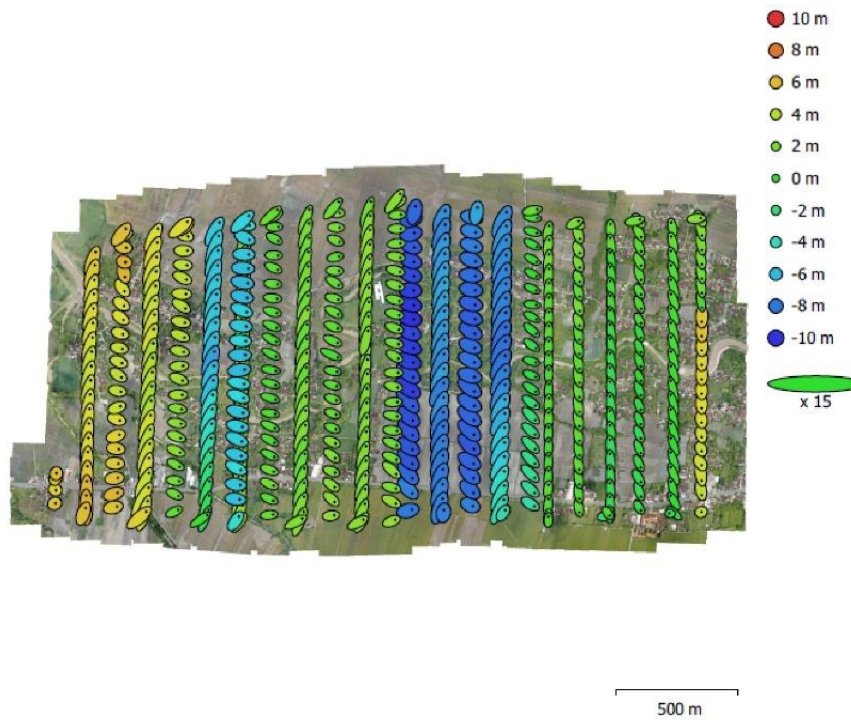
Dari *algorithm report* dapat dilihat posisi kamera dan *error* yang diprediksi (Tabel 4). *Z error* ditampilkan dalam tingkatan warna sementara *x,y error* ditampilkan dalam bentuk elips. Titik hitam menunjukkan estimasi lokasi kamera. Pada kondisi tingkat kesalahan 0 ditunjukkan dengan warna hijau dan bentuk lingkaran bulat utuh (Gambar 6). Variabel X, Y dan Z berturut merupakan *easting*, *northing*, dan *altitude*. Berdasarkan perhitungan, nilai kesalahan dari X, Y, dan Z sebesar 2,014 m, 3,903 m, dan 4,392 m. Secara keseluruhan total nilai kesalahan adalah sebesar 6,174 m. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa nilai kesalahan yang dihasilkan dari pengolahan data hasil UAV drone tanpa menggunakan koordinat pengukuran titik kontrol GCP mendapatkan nilai akurasi sebesar 6,174 meter.

Untuk melakukan koreksi elevasi/topografi digunakan alat GPS Geodetik untuk pengukuran koordinat pada *marker* atau *Ground Control Point* (GCP) yang telah ditentukan. GCP yang diukur merupakan koordinat x dan y pada lokasi referensi di lapangan. Dalam proses orthorektifikasi digunakan 5 titik GCP dan 4 titik *Independent Check Point* (ICP). Berdasarkan hasil perhitungan dari analisis GCP pada Agisoft Photoscan telah diperoleh nilai RMSE X sebesar 1,36122 mm, Y sebesar 2,86977 mm, dan Z sebesar 1,13453 mm. Analisis lokasi GCP dan estimasi nilai *error* berdasarkan hasil *algorithm software* ditampilkan pada Gambar 7. Sementara nilai dari RMSE yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel (Table) 4. Rerata Error Lokasi Kamera (Average camera location error)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2,01498	3,90357	4,3383	4,39295	6,17405

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 6. Camera Locations dan Prediksi Error (Camera locations and error prediction)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 7. Lokasi GCP dan Estimasi Error (GCP locations and error estimations)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 5. Nilai *Control Points* RMSE

Count	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total error (mm)
5	1,36122	2,86977	1,13453	3,17624	3,37278

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tabel (Table) 6. Nilai *Control Points* tiap GCP

Label	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	Total (mm)	Image (pix)
GCP1	-1,85212	-1,84867	1,20866	2,8825	0,454 (9)
GCP2	2,2327	-1,701	-1,53142	3,19743	1,352 (13)
GCP3	-0,110424	3,75424	0,84288	3,84928	0,399 (15)
GCP4	-0,85034	3,02628	-1,38431	3,43479	0,083 (7)
GCP5	0,337692	-3,40797	0,0545294	3,42509	0,456 (17)
Total	1,36122	2,86977	1,13453	3,37278	0,720

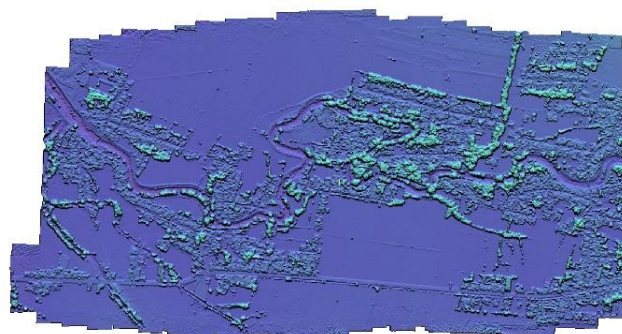
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Teknik fotogrametri yang digunakan dalam kegiatan ini mendapatkan hasil akhir berupa orthofoto (Gambar 8) dan DEM (Gambar 9) dari lokasi yang dipetakan. Orthofoto diperoleh dari foto udara yang telah direktifikasi. Orthofoto yang dihasilkan mempunyai resolusi 0,2 m sehingga objek yang ditampilkan menjadi sangat detail. Pada skala 1 : 1000, orthofoto dapat membedakan antara bangunan, badan air, vegetasi, area perkebunan, sawah dan jalan seperti pada

Gambar 10. Dalam kegiatan mitigasi dampak banjir, hasil orthofoto dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang rawan dan mempunyai kemungkinan terdampak yang tinggi. Hasil orthofoto juga dapat mengidentifikasi kondisi sungai secara detail dan dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan sungai. Dalam pemodelan banjir, hasil orthofoto dan DEM digunakan untuk acuan dalam pembuatan data geometrik sungai.



Gambar (Figure) 8. Orthofoto (*Orthophoto*)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)



Gambar (Figure) 9. DEM  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

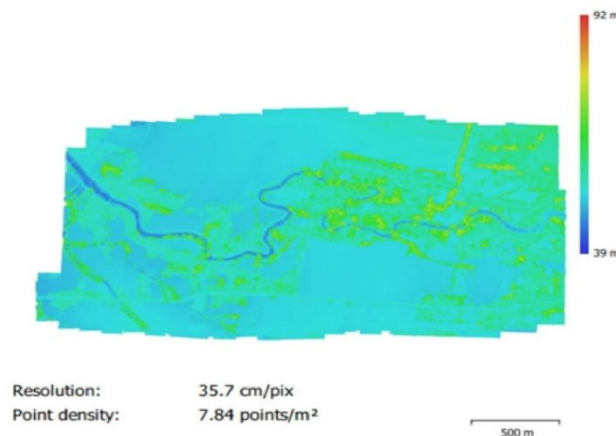


Gambar (Figure) 10. Orthophoto skala 1: 1000 (Orthophoto scale 1: 1000)  
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

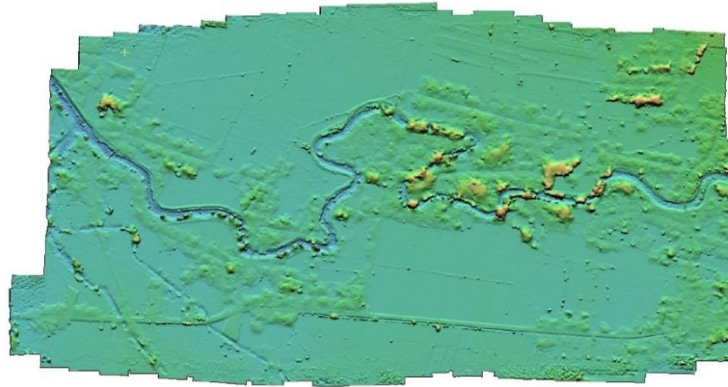
DEM merupakan kenampakan 3 dimensi dari objek dipermukaan bumi. DEM yang dihasilkan merupakan *Digital Surface Model (DSM)*. DSM merupakan data ketinggian yang menampilkan objek di permukaan tanah secara nyata seperti tinggi bangunan dan vegetasi (Gambar 9). Rekonstruksi DEM dengan Agisoft menghasilkan resolusi sebesar 35,7 cm/pix dengan *point density* sebesar 7,84 point/m<sup>2</sup>, yang ditampilkan dalam Gambar 11.

Dalam proses selanjutnya DSM perlu diubah kedalam *Digital Terrain Model (DTM)* sehingga yang terbentuk adalah representasi ketinggian permukaan tanah setelah vegetasi dan ketinggian bangunan dihapus. Untuk mendapatkan data DTM, nilai elevasi vegetasi dan ketinggian

bangunan dihilangkan melalui proses DEM *filtering* pada *software* PCI Geomatika. Digitasi penutupan lahan dilakukan untuk memilah antara penutupan yang akan digunakan dengan data permukaan. DEM filtering dilakukan pada polygon hasil digitasi dengan menggunakan kombinasi metode filtering yang sesuai. Metode filtering yang paling banyak digunakan adalah metode *terrain filter flat* karena sebagian besar wilayah yang diakuisisi merupakan wilayah dataran selanjutnya ditambah dengan metode *remove bumps* dan *fill sinks*. Ketika proses filtering sudah selesai dilakukan pada semua polygon maka data DTM hasil dapat diekspor. Data DTM selanjutnya digunakan sebagai input data dalam HEC-RAS. Data DTM yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar (Figure) 11. Rekonstruksi DEM dengan Agisoft (Reconstructed DEM using Agisoft)  
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 12. Hasil data DTM dengan PCI Geomatika (*Result data DTM using PCI Geomatika*)  
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Nilai ketelitian citra hasil orthofoto dapat diketahui setelah melakukan uji akurasi posisi secara vertikal dan horizontal. Pengujian ketelitian posisi secara teknis berprinsip pada perbedaan koordinat antara titik sampel pada peta dengan lokasi sesungguhnya (Prayogo *et al.*, 2020). Akuisisi koordinat lokasi yang sesungguhnya dilakukan menggunakan GPS Geodetik Navcom pada bentuk objek yang mudah dikenali. Hasil orthofoto dan DEM ini selanjutnya akan digunakan untuk kepentingan pemetaan sehingga keabsahan datanya harus dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karenanya, analisis ketelitian mengacu pada ketelitian Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI). BIG (2014) telah membuat aturan melalui Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 15 Tahun 2014 terkait skala ketelitian peta berdasarkan pada nilai hasil uji akurasi. Ketentuan standar ketelitian geometri peta mengacu pada Tabel 7. Hasil uji akurasi disesuaikan

dengan kelas ketelitian peta RBI yang ditentukan. Peta yang dihasilkan akan memenuhi standar jika nilai ketelitian horizontal/ *Circular Error* (CE90) dan ketelitian vertikal/ *Linear Error* (LE90) dari peta yang diuji sesuai skala foto yang dihasilkan (Hamur *et al.*, 2019). Nilai ketelitian posisi peta dasar bila sudah sesuai dengan Tabel 7 artinya kesalahan posisi peta dasar memiliki kesalahan geometri yang tidak melebihi nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%. Hasil perhitungan RMSE dan nilai akurasi untuk masing-masing posisi horizontal dan vertikal pada 5 titik GCP selanjutnya ditampilkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9. Penentuan nilai ketelitian orthophoto secara horizontal adalah dilihat dari nilai CE90 sebesar 0,214 m. Sementara, nilai ketelitian DEM secara vertikal adalah nilai LE90 sebesar 1,029 m. Nilai kesalahan baik horizontal maupun vertikal tidak melebihi dari nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%.

Tabel (Table) 7. Standar Ketelitian Geometri Peta RBI (Topographical Map Geometry Accuracy Standards)

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2,500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Sumber (Source): BIG (2014)

Tabel (Table) 8. Hasil perhitungan RMSEr dan CE90 (RMSEr and CE90 calculation results)

Nama	X GCP	X Ortho	(DX)	(DX) <sup>2</sup>	Y GCP	Y Ortho	(DY)	(DY) <sup>2</sup>	(DX) <sup>2</sup> + (DY) <sup>2</sup>
GCP 1	563989,88	563989,98	-0,107	0,011	9164639,69	9164639,57	0,116	0,013	0,025
GCP 2	561753,70	561753,62	0,073	0,005	9164716,69	9164716,63	0,065	0,004	0,010
GCP 3	561876,99	561877,01	-0,019	0,000	9165659,99	9165659,95	0,033	0,001	0,001
GCP 4	564021,29	564021,34	-0,051	0,003	9165647,75	9165647,73	0,027	0,001	0,003
GCP 5	562779,18	562779,27	-0,094	0,009	9165110,83	9165110,61	0,226	0,051	0,060
<b>Jumlah</b>									<b>0,099</b>
<b>rata-rata</b>									<b>0,019</b>
<b>RMSE</b>									<b>0,141</b>
<b>Akurasi (CE90)</b>									<b>0,214</b>

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 9. Hasil Perhitungan RMSEz dan LE90 (RMSEz and LE90 calculation results)

Nama (Name)	Elevasi (Elevation)		Selisih (Difference) (m)	Kuadrat Selisih (Squared difference) (m <sup>2</sup> )
	GCP	DSM		
GCP 1	54,878	54,248	0,63	0,40
GCP 2	54,116	54,993	-0,88	0,77
GCP 3	53,22	53,204	0,02	0,00
GCP 4	55,791	55,57	0,22	0,05
GCP 5	54,479	53,617	0,86	0,74
<b>Jumlah</b>				<b>1,958</b>
<b>rata-rata</b>				<b>0,392</b>
<b>RMSEz</b>				<b>0,626</b>
<b>Akurasi (LE90)</b>				<b>1,029</b>

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Nilai CE90 yang dihasilkan yakni sebesar 0,214 memungkinkan orthofoto yang dihasilkan dapat digunakan untuk membuat peta sesuai standar ketelitian peta RBI pada kelas 1 untuk peta dengan skala 1 : 1.000. Peta yang dihasilkan mempunyai kesalahan geometri maksimum tidak melebihi 0,2 m. Pada kajian pemetaan banjir, akurasi posisi horizontal orthofoto dibawah 0,2 m menghasilkan informasi akurat untuk penilaian luas genangan banjir. Selanjutnya, nilai LE90 yang dihasilkan yakni sebesar 1,029 memungkinkan DEM yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisis peta pada skala 1 : 5.000 kategori kelas 1 dengan kesalahan vertikal yang dihasilkan tidak melebihi 1,029 m. Hasil akurasi yang tinggi ini sangat baik digunakan untuk input data penelitian banjir termasuk pendugaaan nilai kedalaman banjir. Kenaikan muka air sampai dengan satuan cm masih dapat diperkirakan karena tingkat kesalahan vertikal dari data DEM dibawah 1 meter.

**b. Pembuatan Data Geometrik Sungai**

Data geometrik sungai merupakan data utama dalam pemodelan banjir. Data

geometrik sungai diperlukan sebagai salah satu input dari *software* HEC-RAS. Melalui ekstensi HEC-GeoRAS dari ArcGIS, data geospasial dapat dikonfigurasi dengan *software* hidrologi lainnya sehingga data spasial dapat dibaca sebagai data geometri yang ditampilkan dalam bentuk peta spasial (Makasaehe *et al.*, 2020). Pembuatan data geometrik sungai melalui proses digitasi yang berupa alur sungai utama (*stream centerline*), tepi sungai (*bank lines*), bantaran sungai (*flow path*), dan penampang melintang (*cross section*). Data geometrik berupa terrain data menggambarkan data elevasi medan tanpa adanya gangguan berupa bangunan, vegetasi, dan air. Data terrain yang digunakan merupakan data DTM dalam format TIN yang telah dikalibrasi dengan data sampel *cross section* hasil pengukuran kedalaman sungai. Profiling *cross section* bertujuan untuk mengetahui nilai elevasi dasar sungai berdasarkan ketinggian permukaan laut. Profiling *cross section* dilakukan secara langsung pada segmen *cross section* melalui pengukuran kedalaman sungai. Rekapitulasi hasil profiling ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel (Table) 10. Rekapitulasi hasil profiling (*recapitulation of profiling results*)

No	X	Y	Elevasi Jembatan ( <i>Bridge elevation</i> ) (m)	Tinggi jembatan dari permukaan air ( <i>height of the bridge above the water surface</i> ) (m)	Kedalaman Sungai ( <i>River depth</i> ) (m)	Elevasi dasar sungai ( <i>Riverbed elevation</i> ) (m)
1	563038	9165188	50,850	6,530	1,23	43,090
2	563039	9165193	51,230	6,740	2,310	42,180
3	563040	9165198	50,9	6,440	1,420	43,040
4	562271	9164942	49,37	5,6	1,32	42,45
5	562275	9164955	47,75	5,6	2,38	39,770

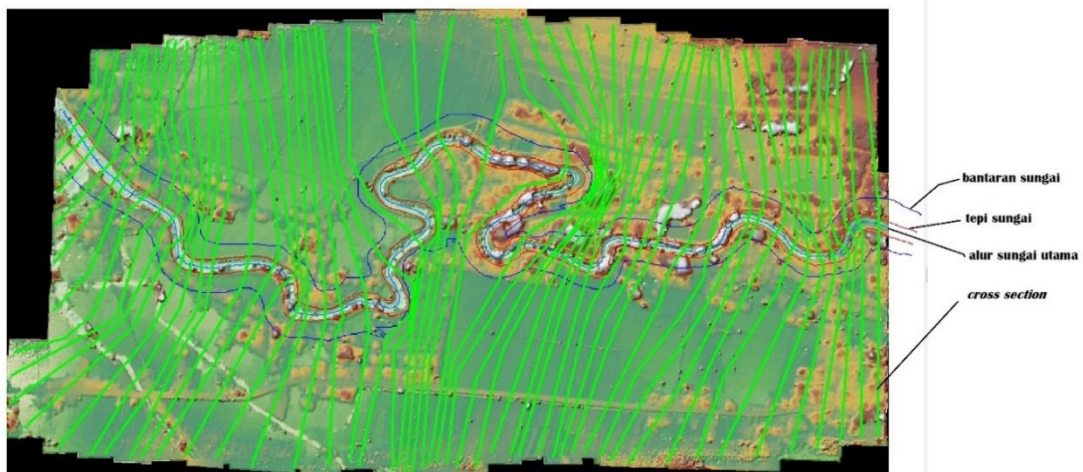
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Dengan menggunakan sumber data yang mempunyai akurasi tinggi, akan dihasilkan data geometrik yang akurat dan dapat diandalkan. Data geometrik sungai yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 13. Pada proses selanjutnya, data ini dapat digunakan sebagai input data untuk pemodelan banjir menggunakan *software* HEC-RAS.

c. Pemodelan banjir sungai dengan *software* HEC-RAS

Setelah persiapan data geometrik dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis hidrologi untuk menghitung nilai debit rencana pada tiap periode ulang banjir berdasarkan pada

data hujan rencana. Data hujan satelit CHIRPS dengan rentang data 20 tahun (2003-2022) digunakan dalam analisis frekuensi hujan. Nilai curah hujan rencana dipilih berdasarkan hasil uji kesesuaian distribusi hujan. Nilai curah hujan rencana yang digunakan merupakan perhitungan curah hujan dengan menggunakan metode Gumbel. Nilai curah hujan rencana ini kemudian digunakan untuk perhitungan nilai debit rencana. Nilai debit rencana digunakan sebagai salah satu input model HEC-RAS. Hasil perhitungan hujan rencana dan debit rencana pada periode ulang 2 tahun dan 50 tahun ditampilkan dalam Tabel 11.



Gambar (Figure) 13. Data geometri sungai dari data UAV (River geometry data from UAV)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 11. Hasil perhitungan debit banjir rencana (Results of planned flood discharge calculations)

Periode Ulang (Return period) (Tahun)	Curah Hujan Rencana (Planned rainfall) (mm)	Debit Banjir Rencana (Designed flood) (m <sup>3</sup> / detik)
2	49,649	229,18
50	85,845	495,36

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Nilai koefisien kekasaran Manning digunakan sebagai input dalam model HEC-RAS. Nilai n ditentukan berdasarkan tipe penutupan lahan pada tiap *cross section*. Hasil input nilai n pada *software* HEC-RAS ditampilkan pada Gambar 14.

Hasil pemodelan aliran *Steady Flow* pada HEC-RAS berfungsi untuk mengetahui tinggi muka air (TMA) banjir pada tiap periode ulang. Pemodelan aliran menggunakan HEC-RAS memberikan informasi terkait luas genangan,

kedalaman, dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur sungai. Hasil simulasi aliran debit banjir rencana menunjukkan bahwa terjadi peningkatan luas genangan dan kedalaman banjir maksimum pada periode ulang yang lebih lama. Hasil perhitungan hidrolika aliran dan peta dampak genangan banjir ditampilkan pada Tabel 12 dan Gambar 15.

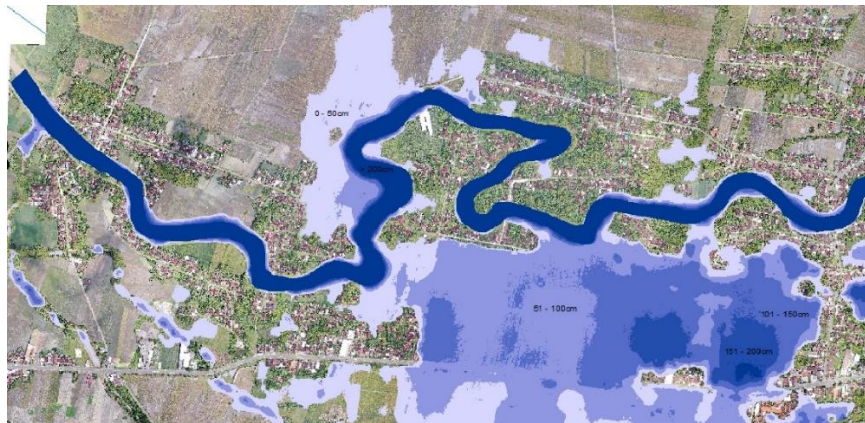
River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 4984.638	n	0.07	0.07	0.05
2 4913.924	n	0.07	0.025	0.05
3 4873.317	n	0.013	0.025	0.07
4 4811.457	n	0.013	0.025	0.013
5 4763.159	n	0.013	0.025	0.07
6 4717.778	n	0.013	0.025	0.07
7 4673.669	n	0.05	0.025	0.013
8 4618.749	n	0.05	0.025	0.05
9 4539.27	n	0.013	0.025	0.013
10 4458.826	n	0.013	0.025	0.07
11 4426.283	n	0.05	0.025	0.05
12 4239.043	n	0.05	0.025	0.1
13 4149.006	n	0.05	0.025	0.05
14 4052.594	n	0.05	0.025	0.05
15 4009.48	n	0.05	0.025	0.05
16 3943.658	n	0.05	0.025	0.05
17 3760.596	n	0.05	0.025	0.05
18 3724.329	n	0.05	0.025	0.05
19 3700.086	n	0.05	0.025	0.05
20 3672.103	n	0.05	0.025	0.05
21 3638.638	n	0.05	0.025	0.05
22 3623.575	n	0.05	0.025	0.05
23 3589.395	n	0.05	0.025	0.05
24 3507.388	n	0.05	0.07	0.05

Gambar (Figure) 14. Nilai koefisien kekasaran Manning (*Manning roughness coefficient value*)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

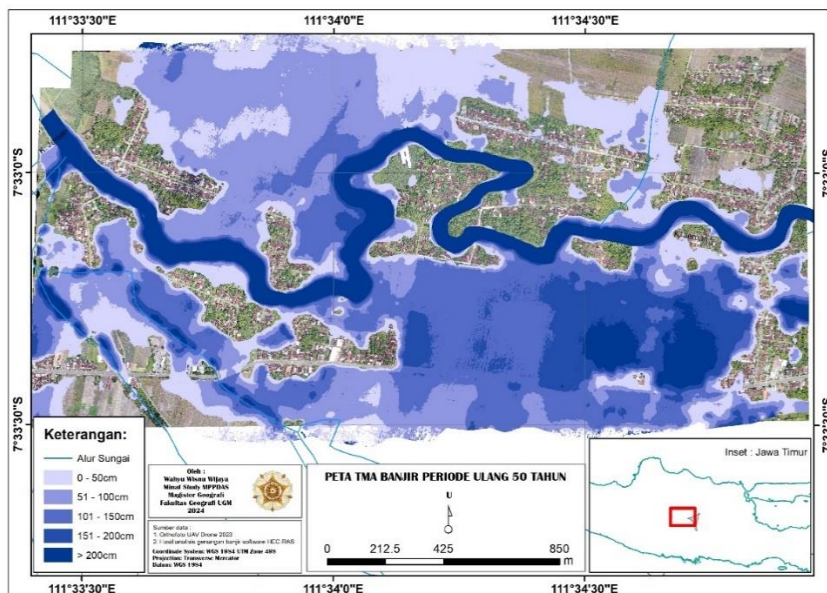
Tabel (Table) 12. Hasil perhitungan hidrolika aliran (*Flow hydraulics calculation results*)

Periode Ulang ( <i>Return period</i> ) (tahun)	Debit Banjir ( <i>Flood discharge</i> ) (m <sup>3</sup> /detik)	Kecepatan Aliran ( <i>Flow speed</i> ) (m/detik)			Kedalaman Banjir maksimum ( <i>Maximum flood depth</i> ) (meter)	Luas Genangan ( <i>Area of inundation</i> ) (ha)
		Minimum ( <i>Minimum</i> )	Maksimum ( <i>Maximum</i> )	Rata-rata ( <i>Average</i> )		
2	229,18	0,38	4,01	1,88	5,25	120,14
50	495,36	0,39	4,95	1,87	6,413	203,21

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)



2 tahun



50 tahun

Gambar (Figure) 15. TMA banjir tiap periode ulang pada model HEC-RAS (flood height for each return period in HEC-RAS model)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Validasi model dilakukan untuk melihat sejauh mana model menampilkan kondisi yang sebenarnya dalam menggambarkan fenomena banjir. Pada beberapa wilayah yang tergenang dilakukan wawancara dengan penduduk setempat. Hasil validasi menunjukkan bahwa memang pada

wilayah tersebut pernah terjadi banjir dengan kondisi terparah pada November tahun 2021. Berdasarkan wawancara dengan 12 responden, seluruh responden memberikan keterangan bahwa pada lokasi tersebut tergenang banjir. Hasil validasi model ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel (Table) 13. Validasi model banjir (*Flood model validation*)

No	Nilai Model Periode Ulang 2 Tahun ( <i>Two years return period model value</i> )	Wawancara ( <i>Interview</i> )
1	0 – 50 cm	50 cm
2	0 – 50 cm	20 cm
3	0 – 50 cm	50 cm
4	0 – 50 cm	50 cm
5	101 – 150 cm	90 cm
6	51 – 100 cm	70 cm
7	101 – 150 cm	90 cm
8	51 – 100 cm	30 cm
9	0 – 50 cm	50 cm
10	0 – 50 cm	100 cm
11	0 – 50 cm	60 cm
12	0 – 50 cm	20 cm

Sumber (*Source*): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Dalam pengelolaan DAS untuk upaya mitigasi bencana banjir, model banjir menggunakan HEC-RAS dapat digunakan untuk sistem peringatan dini banjir. Penggunaan data dengan akurasi yang tinggi akan memberikan hasil model yang lebih baik dalam menunjukkan fenomena geospasial yang ada. Prediksi banjir pada periode ulang yang lebih lama dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan pengelolaan DAS.

### KESIMPULAN

Teknik fotogrametri dengan menggunakan UAV, menghasilkan orthofoto dan DEM yang mempunyai resolusi tinggi yang dapat digunakan sebagai input dalam pemodelan banjir di wilayah kajian. Hasil perhitungan akurasi horizontal (CE90) menghasilkan nilai sebesar 0,2 m, sehingga nilai akurasi orthophoto yang dihasilkan dapat digunakan dalam pembuatan peta skala 1: 1000 termasuk kedalam kelas 1. Selanjutnya, hasil perhitungan akurasi vertikal (LE90) adalah sebesar 1,029 m. Hal ini menunjukkan bahwa DEM yang

dihasilkan dari UAV memiliki kesalahan vertikal dengan nilai yang tidak melebihi 1,029 m. Penggunaan data dengan resolusi yang tinggi diharapkan mampu memberikan gambaran fenomena geospasial secara cepat dan akurat. Model banjir yang dihasilkan dengan *software* HEC-RAS menunjukkan bahwa, banjir menggenangi area seluas 120,14 ha pada periode ulang 2 tahun dan 203,21 ha pada periode ulang 50 tahun.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan cq. BPPSDM atas dukungan dana penelitian, dosen pembimbing, rekan asisten dari Fakultas Geografi UGM (Habib Husyien Albani, Ilham Kio Hafids, Tri Putra), rekan-rekan di BPSI LHK Solo serta program studi MPPDAS Fakultas Geografi UGM.

### KONTRIBUSI

WWW berkontribusi terhadap desain penelitian, pengolahan data dan penulisan manuskrip. SS dan AB

berkontribusi terhadap desain penelitian dan pembahasan, HF berkontribusi terhadap pengolahan data dan analisis data UAV.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andiese, V. W. (2012). Pengujian Metode Hidrograf Satuan Sintetik Gama I Dalam Analisis Debit Banjir Rancangan Das Bangga. *Mektek*, 14(1), 1–9.
- BIG. (2014). Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. *BIG, Badan Informasi Geospasial. Bogor*.
- BNPB. (2022a). *Bencana Indonesia 2022*. Infografis Retrieved from <https://bnpb.go.id/>.
- BNPB. (2022b). *Indek Resiko Bencana*. Retrieved from <https://inarisk.bnpb.go.id/irbi>.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics (Vol. 1)*. McGraw-Hill. New York.
- Hamur, P. K., Tjahjadi, M. T., & Yuliananda, A. (2019). Kajian pengolahan data foto udara menggunakan perangkat lunak agisoft photoscan dan PIX4D mapper ( studi kasus : Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang). *Teknik Geodesi, ITN Malang.*, 1–13. <http://eprints.itn.ac.id/>
- Hidayah, F. N. (2021). *Aplikasi Penginderaan Jauh dan SIG dalam Pemodelan Banjir di Sungai Bengawan Madiun, Kabupaten Madiun Berdasarkan Model HEC-RAS*. Universitas Gadjah Mada.
- Kristiawan, Y., Sumaryono, S., Firmansyah, N., Solihin, A., & Dwiyono, F. (2017). Aplikasi UAV Drone Untuk Penanggulangan Cepat Potensi Aliran Bahan Rombakan (Banjir Bandang) Studi Kasus di Desa Lebakwangi, Kecamatan Arjasari Kabupaten Bandung. *Jurnal Kebumian Ke-10, September*, 1616–1624. <https://repository.ugm.ac.id/274179/>
- Makasaeh, D., Hendratta, L. A., & ... (2020). Kajian Pemetaan Banjir Dengan Hec–Georas Studi Kasus: Sungai Tondano. *Jurnal Sipil ...*, 8(3), 319–326. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/28750>
- Marfai, M. A. (2003). GIS Modelling of River and Tidal Flood Hazards in a Waterfront City Case Study: Semarang City, Central Java, Indonesia. *WRS Department, Master*(February).
- Nharo, T., Makurira, H., & Gumindoga, W. (2019). Mapping floods in the middle Zambezi Basin using earth observation and hydrological modeling techniques. *Physics and Chemistry of the Earth*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.06.002>
- Ntanganedzeni, B., & Nobert, J. (2021). Flood risk assessment in Luvuvhu river, Limpopo province, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102959>
- Prayogo, I. P. H., Manoppo, F. J., & Lefrandt, L. I. R. (2020). Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter Dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point (GCP). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1), 6.
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Journal of Regional and City Planning*, 24(3),

241.  
<https://doi.org/10.5614/jpwk.2013.24.3.1>
- Situmorang, P. H. (2019). Calibration of Digital Cameras for Mobile Mapping Purposes. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 2(1), 138–143. <https://doi.org/10.22146/jgise.40817>
- Sunarko, S., Susiati, H., & Suntoko, H. (2011). Pemodelan Banjir Sungai Di Daerah Aliran Sungai Balong, Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 13(2), 81–91. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpen/article/view/1465/1395>
- Suprayogi, S., Latifah, R., & Marfai, M. A. (2020). Preliminary analysis of floods induced by urban development in Yogyakarta city, Indonesia. *Geographia Technica*, 15(2), 57–71. [https://doi.org/10.21163/GT\\_2020.152.07](https://doi.org/10.21163/GT_2020.152.07)
- Thapa, S., Shrestha, A., Lamichhane, S., Adhikari, R., & Gautam, D. (2020). Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando River in eastern Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 30(March), 100704. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100704>
- Wigati, R., Soedarsono, & Mutia, T. (2016). Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1 (Studi Kasus Sub-DAS Ciberang HM 0+00 - HM 34+00). *Jurnal Fondasi*, 5(2), 51–61.

## DAMPAK DEFORESTASI TERHADAP PRODUKSI LISTRIK PLTA BAKARU SULAWESI SELATAN

*(An Impact of Deforestation on Electricity Production of The Bakaru Hydropower, South Sulawesi)*

Rosmaeni<sup>1,\*</sup>, Irlan<sup>1</sup>, dan Widyanti Utami Adhisti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat, Jalan Prof. Dr. Baharuddin Lopa, S.H., Talumung, Majene, Sulawesi Barat

\*Email: rrose4304@gmail.com

Diterima: 15 Januari 2024, Direvisi : 30 April 2024, Disetujui : 16 Juni 2024

### ABSTRACT

*Deforestation affects the hydrological response of a watershed. Changes in forest land cover to non-forest can degrade watershed functions, especially the condition of water discharge. This research aims to analyze the impact of deforestation in the Mamasa Sub-watershed on the electricity production of the Bakaru Hydroelectric Power Plant. This research method uses the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeling system. The SWAT model is used to analyze the impact of deforestation on watershed discharge conditions. The deforestation scenario is determined based on the spatial analysis (overlay) results to obtain data on changes in forest land cover to non-forest. Four deforestation scenarios will be generated: no deforestation or zero deforestation (0%), low deforestation (20%), medium deforestation (40%), and high deforestation (60%). The simulation results show that the number of Hydrological Response Units (HRU) will be lower when deforestation increases. This research also succeeded in analyzing the impact of various deforestation scenarios on the electricity production of the Bakaru Hydroelectric Power Plant. The simulation results of the Bakaru hydroelectric power plant's monthly average electricity production tend to be greater when compared to the actual monthly average electricity production. The highest difference in electricity production from the Bakaru hydroelectric power plant for all scenarios occurs in the dry months with an average difference between 802,709.64–2,222,293.19 kWh.*

**Keywords:** *deforestation scenario; SWAT; rainfall, discharge, electrical energy*

### ABSTRAK

Deforestasi akan memengaruhi respon hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Perubahan tutupan lahan hutan menjadi non hutan akan mendegradasi fungsi DAS seperti keadaan debit. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak deforestasi di Sub DAS Mamasa terhadap produksi listrik PLTA Bakaru. Metode penelitian ini menggunakan sistem pemodelan

*Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Model SWAT digunakan untuk menganalisis dampak deforestasi terhadap kondisi debit DAS. Skenario deforestasi ditentukan berdasarkan hasil analisis spasial (*overlay*) untuk memperoleh data perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan. Terdapat empat skenario deforestasi yang akan digunakan yaitu tidak terjadi deforestasi (0%), deforestasi rendah (20%), deforestasi sedang (40%) dan deforestasi tinggi (60%). Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah Hydrological Response Unit (HRU) akan semakin rendah jika deforestasi semakin meningkat. Penelitian ini juga berhasil menganalisis dampak berbagai macam skenario deforestasi terhadap produksi listrik PLTA Bakaru. Hasil simulasi produksi listrik rata-rata bulanan PLTA Bakaru cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan produksi listrik rata-rata bulanan aktual. Perbedaan produksi listrik PLTA Bakaru untuk semua skenario paling tinggi terjadi pada pada bulan kering dengan rata-rata perbedaan berkisar antara 802.709,64–2.222.293,19 kWh.

**Kata kunci: skenario deforestasi; SWAT; curah hujan; debit; energi listrik**

## I. PENDAHULUAN

Sumber daya air memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia. Selain sebagai sumber kehidupan seluruh makhluk, air dapat pula digunakan sebagai sumber energi listrik. Terdapat beberapa alasan mengapa sumberdaya air menjadi pilihan energi yang menarik. Stickler *et al.* (2013) menyebutkan alasan-alasan tersebut seperti (1) lebih murah daripada bentuk listrik terbarukan lainnya; (2) dapat menyediakan energi lebih mudah dan lebih sedikit gangguan; (3) berpotensi menyediakan energi listrik dengan tingkat emisi gas rumah kaca (GRK) yang lebih rendah. Tren pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) negara-negara di dunia semakin meningkat termasuk Indonesia. Pada tahun 2019, kebutuhan energi listrik Indonesia mencapai 158,38 juta setara barel minyak (SBM) atau 16 persen dari total kebutuhan energi nasional. Diproyeksikan akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2050 (BPPT, 2021). Di Indonesia, potensi energi yang dapat dimanfaatkan dengan menggunakan

sumber daya air yaitu 75.091 MW dan hanya termanfaatkan sebesar 9 persen dari total energi yang tersimpan (Erinofiardi *et al.*, 2017).

Produktivitas PLTA dipengaruhi oleh besarnya debit sungai yang dihasilkan suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) (Stickler *et al.*, 2013). Debit sungai merupakan input utama PLTA dalam menghasilkan energi listrik (Singh & Singal, 2017; Stickler *et al.*, 2013). Salah faktor yang memengaruhi debit sungai suatu DAS adalah kondisi tutupan lahan (Schilling, Jha, Zhang, Gassman, & Wolter, 2008). Tutupan lahan hutan dinilai berpengaruh besar dalam siklus iklim dan hidrologi (Ellison *et al.*, 2017; Guimberteau *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2014). Dengan kata lain, hilangnya tutupan hutan menjadi non-hutan (deforestasi) memiliki dampak besar terhadap produktivitas PLTA.

Studi terkait deforestasi dan pengaruhnya terhadap siklus hidrologi suatu DAS telah banyak dilakukan khususnya pada daerah hutan tropis. Penelitian yang dilakukan Coe, Costa, &

Soares-Filho (2009) menunjukkan bahwa deforestasi skala besar dapat berdampak signifikan terhadap peningkatan debit tahunan sebesar 25 persen. Hal yang sama juga ditunjukkan Arias, Lee, Farinosi, Pereira, & Moorcroft (2018) dalam penelitiannya di hutan tropis Brazil bahwa perubahan tutupan hutan skala besar hingga 80 persen menjadi penyebab terhadap peningkatan aliran air (aliran langsung). Peningkatan aliran ini dipengaruhi oleh hilangnya fungsi hidrologis hutan untuk mengembalikan air ke atmosfer (Chambers & Artaxo, 2017). Perubahan tutupan hutan menjadi lahan pertanian dapat menyebabkan berkurangnya tingkat evapotranspirasi dan meningkatkan aliran permukaan serta debit tahunan pada musim penghujan (Chacuttrikul, Kiguchi, & Oki, 2018; Ellison *et al.*, 2017; Guimberteau *et al.*, 2017; Panday, Coe, Macedo, Lefebvre, & de Almeida Castanho, 2015; Peña-Arancibia, Bruijnzeel, Mulligan, & van Dijk, 2019). Penelitian yang dilakukan Kaura, Arias, Benjamin, Oeurng, & Cochrane (2019) menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan seperti lahan pertanian juga dapat meningkatkan hasil sedimen akibat erosi yang menyebabkan gangguan terhadap sistem produksi listrik di PLTA.

Studi terkait pembangkit listrik tenaga air masih mengabaikan kondisi tutupan hutan di masa depan. Diasumsikan bahwa deforestasi memiliki efek positif pada debit sungai dan pembangkit energi listrik akibat penurunan evapotranspirasi (ET) terkait konversi hutan (Stickler *et al.*, 2013). Deforestasi dapat meningkatkan total aliran tahunan karena tingginya debit

banjir di musim hujan. Namun disatu sisi, hilangnya tutupan hutan juga dapat mengurangi aliran dasar (*baseflow*) terutama pada bulan kering, sebab salah satu fungsi hutan dapat menahan air hujan dan menjaga kestabilan debit sungai sepanjang tahun.

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan analisis *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) untuk memperoleh debit simulasi Sub DAS Mamasa. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak deforestasi terhadap produksi listrik PLTA Bakaru Sub DAS Mamasa. Namun, penelitian ini hanya menganalisis dampak deforestasi dari aspek debit sungai dan jumlah produksi listrik PLTA Bakaru. Kajian tentang hubungan deforestasi dengan produksi energi listrik saat ini menjadi hal penting dilakukan. Hal tersebut berkaitan dengan upaya menjaga kontinuitas produksi listrik PLTA melalui perencanaan kegiatan rehabilitasi dan pengendalian deforestasi di dalam DAS.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan September sampai November 2023 di Sub DAS Mamasa. Sub DAS Mamasa merupakan bagian dari DAS Saddang, salah satu DAS terluas di Pulau Sulawesi yang melintasi dua provinsi yaitu Provinsi Sulawesi Barat dan Sulawesi Selatan. Selain sebagai sumber debit Pembangkit Listrik Tenaga Air Bakaru, sub DAS Mamasa menjadi sumber air baku dan irigasi bagi masyarakat yang bermukim di sekitarnya. (Gambar 1).

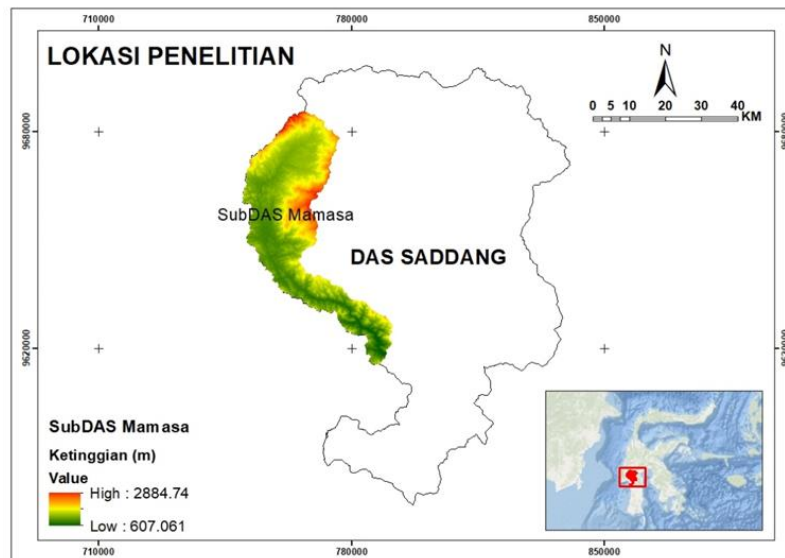
## B. Bahan dan Alat

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tutupan lahan tahun 2012-2021, *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS), data jenis tanah dan data iklim tahun 2012-2021. Selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

## C. Metode Penelitian

Analisis spasial (*overlay*) dilakukan untuk memperoleh data perubahan tutupan lahan yang terjadi di Sub DAS

Mamasa (perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan) (Tabel 2). Analisis ini menggunakan plugin Mollusce pada software QGIS 2.18. Data perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan akan digunakan sebagai indikator utama dalam penentuan skenario deforestasi. Terdapat empat skenario deforestasi yang akan dihasilkan meliputi tidak terjadi deforestasi (0%), deforestasi rendah (20%), deforestasi sedang (40%) dan deforestasi tinggi (60%).



Gambar (Figure) 1. Peta Lokasi Penelitian (*The research site map*)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tabel (Table) 1. Jenis dan sumber data penelitian (*Type and source of research data*)

No.	Jenis Data ( <i>Data type</i> )	Format	Sumber Data ( <i>Data source</i> )
1.	Tutupan lahan (2012-2021)	Raster	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
2.	<i>Digital Elevation Model</i> Nasional (DEMNAS)	Raster	<a href="https://tanahair.indonesia.go.id/">https://tanahair.indonesia.go.id/</a>
3.	Tanah	Raster	Food and Agriculture Organization (FAO)
4.	Data iklim 2011-2021	Text file	<a href="https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/">https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/</a>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curah hujan</li> <li>• Kelembaban relatif</li> <li>• Temperatur rata-rata</li> <li>• Kecepatan angin</li> <li>• Radiasi matahari</li> </ul>		
5.	Debit Observasi	Text file	PLTA Bakaru
6.	Produksi listrik aktual	Text file	PLTA Bakaru

Sumber (source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tabel (Table) 2. Perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan (deforestasi) di Sub DAS Mamasa 2012-2021  
 (Changes in forest to non-forest (deforestation) in the Mamasa Sub-watershed 2012-2021)

No.	Perubahan tutupan lahan (Land cover change)	Luas (Ha)	Persentase
1.	Hutan ke Semak/belukar	72.58777	11.88%
2.	Hutan ke Pertanian	473.8358	77.56%
3.	Hutan ke Sawah	5.837386	0.96%
4.	Hutan ke Padang Rumput	56.40407	9.23%
5.	Hutan ke Badan air	2.235191	0.37%
Total		610.9002	100%

Sumber(Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Pola deforestasi yang terjadi di Sub DAS Mamasa diperoleh dari data perubahan tutupan lahan 2012-2021. Terdapat lima pola deforestasi yang terjadi dalam kurung waktu 10 tahun (Tabel 2). Perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan paling besar oleh peningkatan penggunaan lahan pertanian. Hal ini disebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan lahan pertanian oleh masyarakat Mamasa sebesar 7,76% per tahun. Untuk mengetahui dampak deforestasi terhadap kondisi debit sungai, menggunakan pendekatan analisis *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). SWAT adalah alat yang banyak digunakan untuk menganalisis kondisi hidrologi DAS di berbagai belahan dunia (Aloui, Mazzoni, Elomri, Aouissi, Boufekane, & Zghibi, 2023). Model ini dikembangkan oleh *United States Department of Agriculture* (USDA) *Agriculture Research Service* (ARS) (Wang, Jiang, Xie, Zhao, Yan, & Yang, 2019). Model SWAT ini dapat digunakan secara gratis dan fleksibel untuk diterapkan pada berbagai ukuran DAS serta memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi dengan mempertimbangkan faktor yang dinamis seperti perubahan penggunaan lahan (Janjić & Tadić, 2023). Namun salah satu tantangan penggunaan model SWAT

adalah ketersediaan dan keandalan data (Tan, Gassman, Srinivasan, Arnold, & Yang, 2019). Variabel yang digunakan di dalam pemodelan debit sungai meliputi *Digital Elevation Model* (DEM), tutupan lahan, data jenis tanah, data iklim seperti curah hujan, kelembaban relatif, temperature rata-rata, radiasi matahari dan kecepatan angin (de Oliveira Serrão *et al.*, 2020). Tahapan dalam pemodelan ini meliputi deliniasi batas DAS dan pembagian sub-basin, pembentukan *hydrologic response units* (HRU), simulasi model SWAT dan validasi model. Untuk mengetahui tingkat ketergantungan PLTA terhadap hutan maka setiap skenario deforestasi akan dilakukan perhitungan energi PLTA yang dihasilkan berdasarkan masing-masing skenario. Persamaan yang digunakan untuk menghitung energi PLTA adalah sebagai berikut (Lukas, Rohi, & Tumbelaka, 2017; Stickler *et al.*, 2013):

$$P_m = \Delta h \times Q_m \times g \times EF \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan (Remarks):

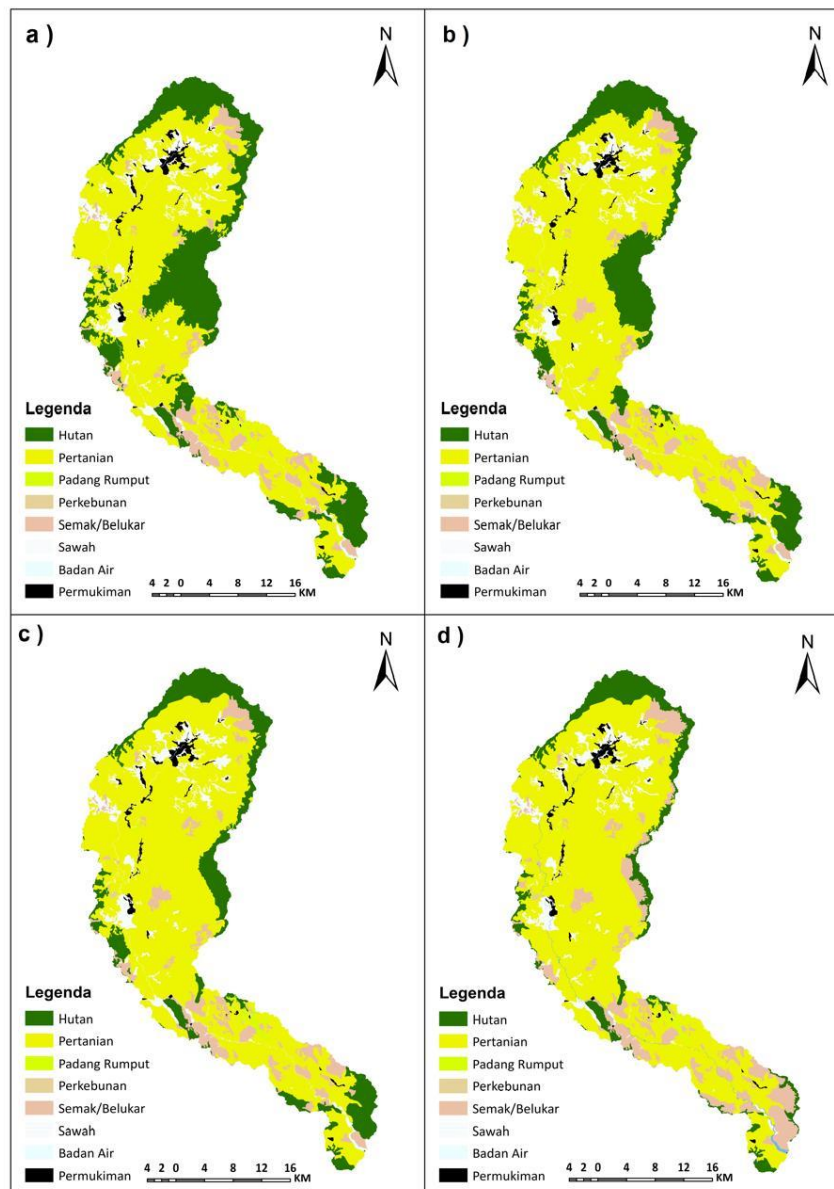
- P<sub>m</sub> = Produksi Listrik rata-rata bulanan (Kwh)
- Δh = Tinggi jatuh air efektif (m)
- Q<sub>m</sub> = Debit rata-rata bulanan (m<sup>3</sup>/s)
- g = Gaya gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- EF = Faktor efisiensi turbin dan generator (0,918)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Skenario Deforestasi

Berdasarkan pola perubahan tutupan lahan pada Tabel 2, maka diperoleh empat skenario deforestasi Sub DAS Mamasu (Gambar 2). Keempat skenario deforestasi yang digunakan dalam pemodelan SWAT dapat dilihat pada Tabel 3. Pertama, skenario deforestasi 0% yang mengacu

pada tutupan lahan tahun 2021 dengan luas hutan sebesar 27.725,67 ha. Kedua, skenario deforestasi 20% (deforestasi rendah) dengan luas tutupan hutan sebesar 22.016,95 ha. Ketiga, skenario deforestasi 40% (deforestasi sedang) dengan luas tutupan hutan sebesar 16.453,52 ha. Keempat, skenario deforestasi 60% (deforestasi tinggi) dengan luas tutupan hutan sebesar 10.805 ha.



Gambar (Figure) 2. Skenario deforestasi: a) tidak terjadi deforestasi (0%); b) deforestasi rendah (20%); c) deforestasi sedang (40%); d) deforestasi tinggi (60%) (Deforestation scenarios: a) no deforestation (0%); b) low deforestation (20%); c) moderate deforestation (40%); d) high deforestation (60%).

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 3. Luas tutupan hutan masing-masing skenario deforestasi (Forest cover area for each deforestation scenario)

Tutupan lahan (Land cover)	Skenario Deforestasi (Deforestation scenario) (ha)			
	0%	20%	40%	60%
Hutan	27.725,67	22.016,95	16.453,52	10,805.11
Non-Hutan	77.332,59	83.041,31	88.604,74	94,253.14

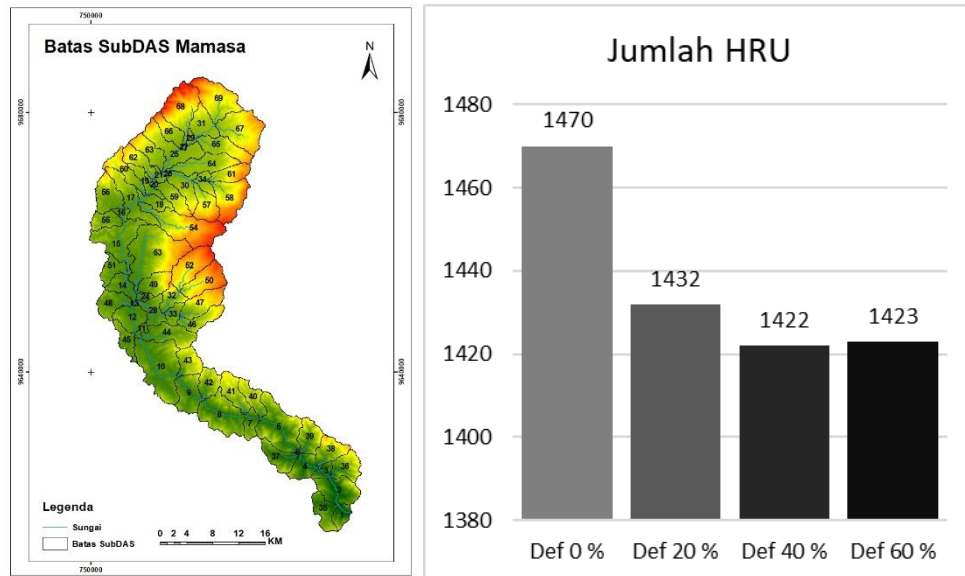
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

## B. Debit Sungai Sub DAS Mamasa

Berdasarkan hasil delineasi, luas wilayah Sub DAS Mamasa yang diperoleh sebesar 105.058,26 ha. Penggunaan model SWAT juga akan dihasilkan sub-basin, dimana wilayah tersebut terdiri atas 69 sub-basin. Nilai elevasi tertinggi dan terendah pada wilayah Sub DAS Mamasa masing-masing sebesar 2.884,74 mdpl dan 607,06 mdpl. Dalam pembentukan HRU didapatkan jumlah yang berbeda untuk setiap skenario. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh adanya perubahan kelas tutupan lahan, dimana tutupan lahan merupakan salah satu faktor utama dalam pembentukan HRU (Kenea, Adeba, Regasa, & Nones, 2021; Martínez-Retureta, Aguayo, Stehr, Sauvage, Echeverría, & Sánchez-Pérez, 2020). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah HRU jika wilayah DAS mengalami peningkatan deforestasi. Perubahan HRU ini terjadi akibat adanya perubahan tutupan lahan yang menjadi salah satu faktor dalam penentuan area HRU (Emiyati, Kusratmoko, & Sobirin, 2016). Hasil delineasi batas sub DAS dan pembentukan HRU dapat dilihat pada Gambar 3.

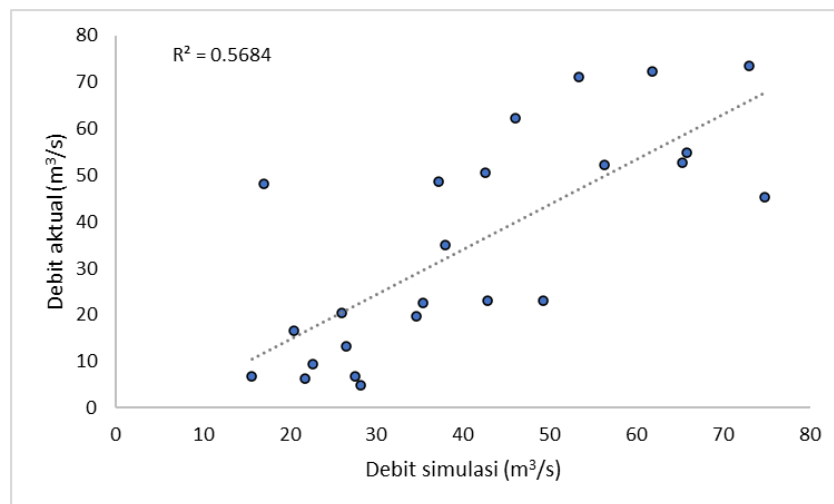
Perbedaan jumlah dan distribusi HRU pada setiap skenario deforestasi menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan hutan menjadi non-hutan, secara teori akan memengaruhi respon hidrologi yang dihasilkan oleh suatu DAS (Ismoyojati, Sujono, & Jayadi, 2019). Perubahan jumlah dan distribusi HRU berdampak pada akumulasi limpasan permukaan dan debit aliran suatu DAS (Emiyati *et al.*, 2016). Deforestasi dapat mendegradasi fungsi suatu DAS seperti peningkatan erosi tanah, peningkatan *run off*, penurunan evapotranspirasi dan menurunnya air simpanan yang berdampak pada penurunan produktivitas lahan (Posada-Marín & Salazar, 2022; Salim, Dharmawan, & Narendra, 2019).

Validasi model telah dilakukan untuk mengetahui kinerja model dengan menghitung nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Data yang digunakan untuk validasi model adalah data debit aktual tahun 2018–2019. Hasil validasi menunjukkan nilai koefisien determinasi dengan nilai  $R^2$  0,568 (Gambar 4). Nilai koefisien determinasi tersebut mengindikasikan bahwa kinerja model cukup memuaskan (Gracelli, Magalhães, Santos, & Calijuri, 2020).



Gambar (Figure) 3. Hasil delineasi batas sub DAS, sub basin dan HRU (Results of delineation of sub-watershed, sub-basin and HRU boundaries)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

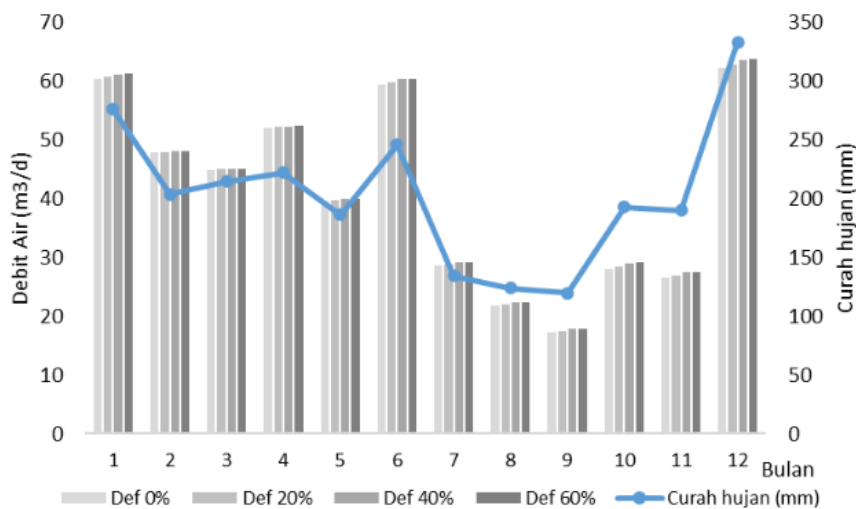


Gambar (Figure) 4. Grafik yang menggambarkan hasil validasi model SWAT (Graph illustrating the results of SWAT model validation)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Hasil simulasi debit *inflow* PLTA Bakaru berdasarkan skenario deforestasi dan hubungannya dengan curah hujan dapat dilihat pada Gambar 5. Debit rata-rata bulanan tertinggi Sub DAS Mamasa terjadi pada periode bulan basah (Desember hingga Juni) dan cenderung mengalami penurunan pada periode bulan kering (Juli hingga November). Kondisi ini disebabkan oleh tingginya curah hujan rata-rata

bulan pada periode bulan basah yang mencapai 300–340 mm. Sementara itu, periode dengan curah hujan yang rendah memiliki hasil debit rata-rata bulanan yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara curah hujan dengan debit rata-rata bulanan suatu DAS (Camici, Massari, Ciabatta, Marchesini, & Brocca, 2020; Gunawan, Muslim, & Rahardjo, 2020).



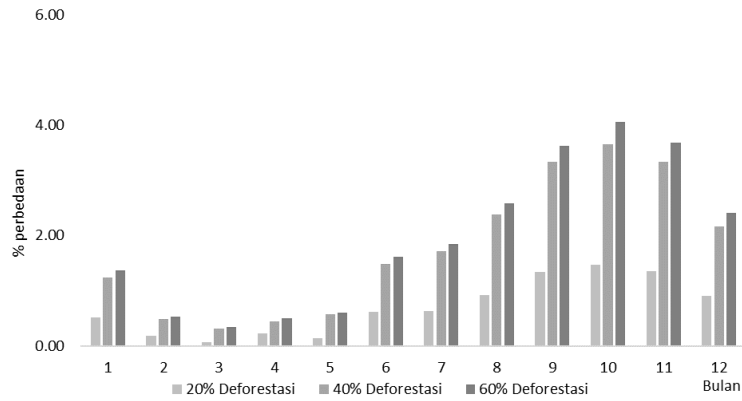
Gambar (Figure) 5. Grafik debit simulasi berdasarkan skenario deforestasi dan curah hujan (*Simulated discharge graph based on deforestation and rainfall scenarios*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Selain curah hujan, besarnya debit sungai juga dipengaruhi oleh faktor tutupan lahan (Adeyeri, Laux, Lawin, & Arnault, 2020; Ebodé *et al.*, 2022). Berdasarkan skenario deforestasi terhadap debit rata-rata bulanan, peningkatan debit rata-rata bulanan sub DAS Mamasa terjadi pada semua skenario deforestasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat deforestasi maka debit rata-rata yang dihasilkan suatu DAS akan meningkat (Lyra & Rigo, 2019). Peningkatan tutupan hutan memberikan dampak positif terhadap hidrologi DAS, sedangkan peningkatan tutupan lahan pertanian memberikan dampak negatif terhadap kesehatan hidrologi DAS (Wariunsora, Kusuma, & Suprayogo, 2024). Deforestasi menjadi penyebab air hujan lebih banyak menjadi limpasan permukaan yang akan mengalir langsung ke sungai (Anwar, Pawitan, Murtalaksono, & Jaya, 2011; Salim *et al.*, 2019). Selain itu, porositas tanah yang rendah akibat perakaran pohon yang

sedikit akan menurunkan kemampuan tanah dalam menyimpan air hujan melalui proses infiltrasi. Tanah-tanah hutan porositasnya lebih tinggi disebabkan perakaran yang kompleks sehingga kapasitas infiltrasi menjadi lebih tinggi (Budianto, Wirosodarmo, & Suharto, 2014; Utami, Lestariningsih, Wicaksono, Anggara, & Lathif, 2024). Keberadaan hutan juga berpengaruh terhadap banyaknya serasah dapat memperbaiki sifat fisik tanah (Utami *et al.*, 2024; Yusnita, 2023) seperti struktur dan tekstur tanah. Tanah hutan bertekstur kasar dan berpori lebar sehingga air hujan lebih mudah meresap ke dalam lapisan-lapisan tanah.

Deforestasi memiliki dampak yang berbeda-beda terhadap debit bulanan, terutama antara bulan basah dan kering (Gracelli *et al.*, 2020). Dampak deforestasi terhadap debit yang dihasilkan sub DAS Mamasa juga dapat dilihat pada perbedaan debit rata-rata bulan seperti terlihat pada Gambar 6 dan Tabel 4.



Gambar (Figure) 6. Grafik perbedaan debit air sungai setiap skenario deforestasi (%) terhadap kondisi awal (Graph of the difference in river water discharge for each deforestation scenario (%) compared to initial conditions)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 4. Perbedaan debit rata-rata bulanan setiap skenario deforestasi (%) terhadap kondisi awal (Difference in average monthly discharge for each deforestation scenario (%) compared to initial conditions)

Bulan	% Perbedaan		
	Deforestasi 20%	Deforestasi 40%	Deforestasi 60%
Januari	0,52	1,23	1,37
Februari	0,18	0,49	0,52
Maret	0,06	0,31	0,34
April	0,22	0,45	0,50
Mei	0,13	0,57	0,60
Juni	0,62	1,48	1,61
Juli	0,62	1,71	1,84
Agustus	0,93	2,38	2,58
September	1,33	3,33	3,63
Oktober	1,47	3,65	4,06
November	1,35	3,34	3,68
Desember	0,90	2,16	2,41

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Pada bulan basah (curah hujan > 200 mm), debit rata-rata bulanan sub DAS Mamasa memiliki perbedaan yang relatif lebih rendah untuk berbagai skenario deforestasi. Kondisi yang berbeda terjadi pada bulan kering dengan curah hujan rata-rata bulanan <200 mm, dimana perbedaan debit rata-rata bulanan berada pada tingkat tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa debit rata-rata bulanan relatif lebih stabil pada bulan basah. Deforestasi yang terjadi di wilayah sub DAS Mamasa akan

berdampak pada bulan kering yang ditunjukkan dengan tingginya perbedaan debit rata-rata bulanan. Semakin tinggi tingkat deforestasi maka perbedaan debit rata-rata bulanan akan semakin besar. Perubahan tutupan hutan (deforestasi atau reforestasi) berpengaruh pada evapotranspirasi dan limpasan permukaan yang terjadi pada bulan basah dan kering sehingga berdampak pada jumlah debit (Gracelli *et al.*, 2020; Zeilhofer, Alcantara, & Fantim-Cruz, 2018).

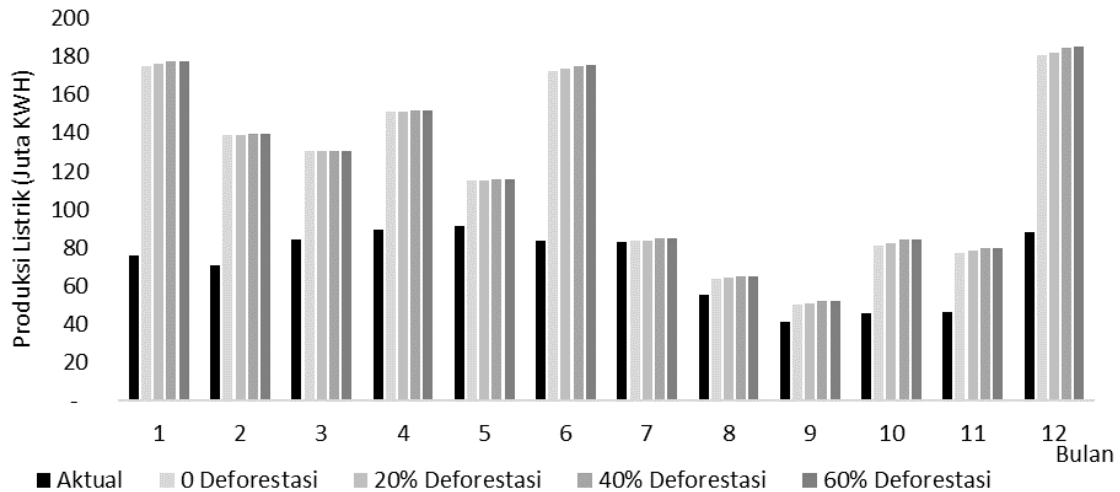
### C. Produksi Energi PLTA Bakaru

Produksi listrik PLTA Bakaru ditentukan berdasarkan debit simulasi rata-rata bulanan Sub DAS Mamasa. Nilai debit secara langsung berpengaruh terhadap produksi energi listrik (Hakim, Yuniarti, Sukir, & Damarwan, 2020). Semakin besar debit air maka tegangan listrik yang dihasilkan semakin besar pula, demikian sebaliknya (Hakim *et al.*, 2020). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa produksi listrik rata-rata bulanan hasil simulasi PLTA Bakaru memiliki jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan produksi listrik rata-rata bulanan aktual (Gambar 7). Hal ini mengindikasikan bahwa potensi debit air yang dihasilkan oleh sub DAS Mamasa mampu untuk mendukung produksi listrik PLTA Bakaru secara maksimal. Namun harus dicatat bahwa perhitungan produksi listrik yang dilakukan dalam penelitian tidak memperhitungkan kapasitas generator PLTA Bakaru. Generator PLTA Bakaru hanya dapat menampung debit air maksimal sebesar 45 m<sup>3</sup>/s (Ode, Yiyin, & Rudi, 2020). Sementara itu, hasil simulasi debit rata-rata bulanan Sub DAS Mamasa dapat mencapai 63,76 m<sup>3</sup>/s. Produksi listrik hasil simulasi pada bulan basah lebih besar jika dibandingkan dengan produksi listrik pada bulan kering (Hadiani, Solichin, Rosyid, Pariyanto, & Hadi, 2021). Pada bulan basah, potensi produksi listrik PLTA Bakaru berkisar antara 114.996.127,02–185.006.751,05 kWh. Potensi produksi listrik PLTA bakaru pada bulan kering hanya berkisar antara 50.115.266,89–84.719.403,98 kWh.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa peningkatan jumlah debit rata-rata bulanan meningkatkan jumlah produksi

listrik PLTA Bakaru. Kondisi ini telah dijelaskan oleh Obahoundje & Diedhiou (2022) bahwa penurunan tutupan lahan alami seperti hutan akan meningkatkan aliran permukaan yang akhirnya akan berdampak langsung pada peningkatan produksi listrik PLTA. Peningkatan produksi listrik rata-rata bulanan untuk masing-masing skenario yaitu sebesar 701.538,66 kWh (deforestasi 20%), 1.763.153,53 kWh (deforestasi 40%) dan 1.939.290,19 kWh (deforestasi 60%). Perbedaan produksi listrik rata-rata PLTA Bakaru paling besar terjadi pada pada bulan kering seperti terjadi pada bulan Juli hingga November. Kondisi ini ditunjukkan dengan rata-rata peningkatan produksi listrik PLTA Bakaru pada bulan kering akibat deforestasi dapat mencapai kisaran 802.709,64–2.222.293,19 kWh. Jumlah ini 27,56–28,79% lebih besar dari persentase perbedaan rata-rata produksi listrik yang terjadi pada bulan basah. Peningkatan ini lebih kecil dari yang telah ditemukan oleh Arias *et al.* (2020) pada simulasi yang dilakukan di DAS Amazon sebesar 50–69 %.

Perlu diketahui bahwa penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu hanya menganalisis dampak deforestasi dari aspek debit tanpa memperhatikan dampak lainnya, terutama potensi sedimentasi yang akan mengganggu kapasitas daya tampung waduk dan mengganggu kinerja turbin. Kedepannya, dampak lain deforestasi seperti erosi dan sedimentasi yang berpengaruh nyata terhadap kinerja PLTA perlu dilakukan. Dengan melakukan analisis menyeluruh diharapkan dapat memberikan penjelasan yang lebih detail terkait produksi listrik PLTA yang berkelanjutan.



Gambar (Figure) 7. Hasil Simulasi Produksi Energi Listrik PLTA Bakaru Berdasarkan skenario deforestasi (*Bakaru Hydroelectric Power Production Simulation Results Based on deforestation scenarios*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Deforestasi tidak dapat dilihat hanya pada meningkatnya produksi listrik suatu PLTA. Berbagai dampak negatif juga dapat ditimbulkan dari penurunan atau hilangnya tutupan hutan. Deforestasi dalam jangka panjang akan memengaruhi siklus hidrologi. Penurunan tutupan hutan dapat memengaruhi respon hidrologi suatu wilayah yang akan berdampak pada kestabilan fungsi DAS. Dampak deforestasi adalah dapat memengaruhi perubahan curah hujan, evapotranspirasi, kapasitas infiltrasi (Posada-Marín & Salazar, 2022). Selain itu, deforestasi juga akan meningkatkan erosi tanah, sedimentasi, penurunan umur bendungan dan risiko kejadian banjir (Obahoundje & Diedhiou, 2022).

#### IV. KESIMPULAN

Deforestasi yang terjadi di wilayah sub DAS Mamasa berdampak pada debit dan produksi listrik di PLTA Bakaru. Hasil validasi model menunjukkan koefisien determinasi yang diperoleh yaitu sebesar 0,57. Nilai ini mengindikasikan bahwa kinerja model cukup memuaskan. Produksi

listrik rata-rata bulanan hasil simulasi PLTA Bakaru cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan produksi listrik rata-rata bulanan aktual. Perbedaan produksi listrik rata-rata bulanan PLTA Bakaru paling tinggi terjadi pada pada bulan kering sebagaimana yang terjadi pada bulan Juli hingga November. Perbedaan produksi listrik PLTA Bakaru pada bulan kering akibat deforestasi berkisar antara 802.709,64–2.222.293,19 kWh. Jumlah ini, 27,56–28,79 persentasinya lebih besar dari perbedaan produksi listrik yang terjadi pada bulan basah. Penelitian ini hanya menganalisis dampak deforestasi terhadap jumlah debit dan produksi listrik PLTA tanpa memperhatikan dampak lainnya. Kedepannya, penting dilakukan penelitian dengan mempertimbangkan dampak lain deforestasi seperti erosi dan sedimentasi yang akan berpengaruh terhadap keberlanjutan kinerja PLTA.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada pimpinan Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Lembaga Penelitian,

Pengabdian pada Masyarakat dan Penjamin Mutu (LPPM) Universitas Sulawesi Barat atas support dan dukungannya dalam penelitian mengenai Dampak Deforestasi Terhadap Produksi Energi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Air Bakaru Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga kami haturkan kepada pihak PLTA Bakaru atas kesediannya dalam memberikan informasi data-data primer yang dibutuhkan oleh tim peneliti.

### KONTRIBUSI

Penulis pertama dan kedua membuat rancangan penelitian dan analisis data hingga penyelesaian artikel ini. Penulis kedua dan ketiga bersama-sama dalam pengumpulan data lapangan. Ketiga penulis memiliki kontribusi secara proporsional dalam penulisan artikel ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adeyeri, O. E., Laux, P., Lawin, A. E., & Arnault, J. (2020). Assessing the impact of human activities and rainfall variability on the river discharge of Komadugu-Yobe Basin, Lake Chad Area. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1–12.
- Aloui, S., Mazzoni, A., Elomri, A., Aouissi, J., Boufekane, A., & Zghibi, A. (2023). A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) studies of Mediterranean catchments: Applications, feasibility, and future directions. *Journal of Environmental Management*, 326, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116799>
- Anwar, M., Pawitan, H., Murti Laksono, K., & Jaya, I. N. S. (2011). Respons Hidrologi Akibat Deforestasi di DAS Barito Hulu, Kalimantan Tengah. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 17(3), 119–126.

- Arias, M. E., Farinosi, F., Lee, E., Livino, A., Briscoe, J., & Moorcroft, P. R. (2020). Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon. *Nature Sustainability*, 3(6), 430–436.
- Arias, M. E., Lee, E., Farinosi, F., Pereira, F. F., & Moorcroft, P. R. (2018). Decoupling the effects of deforestation and climate variability in the Tapajós river basin in the Brazilian Amazon. *Hydrological Processes*, 32(11), 1648–1663. <https://doi.org/10.1002/hyp.11517>
- BPPT. (2021). Outlook energi Indonesia 2021: Perspektif teknologi energi Indonesia. Jakarta.
- Budianto, P. T. H., Wirosoedarmo, R., & Suharto, B. (2014). Perbedaan laju infiltrasi pada lahan hutan tanaman industri pinus, jati dan mahoni. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1(2), 15–24.
- Camici, S., Massari, C., Ciabatta, L., Marchesini, I., & Brocca, L. (2020). Which rainfall score is more informative about the performance in river discharge simulation? A comprehensive assessment on 1318 basins over Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(10), 4869–4885. <https://doi.org/10.3390/w11122444>
- Chacuttrikul, P., Kiguchi, M., & Oki, T. (2018). Impacts of climate and land use changes on river discharge in a small watershed: a case study of the Lam Chi subwatershed, northeast Thailand. *Hydrological Research Letters*, 12(2), 7–13. <https://doi.org/10.3178/hrl.12.7>
- Chambers, J. Q., & Artaxo, P. (2017). Deforestation size influences rainfall. *Nature Climate Change*, pp. 175–176.
- Coe, M. T., Costa, M. H., & Soares-Filho, B. S. (2009). The influence of historical and potential future deforestation on the

- stream flow of the Amazon River–Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, 369(1–2), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.043>
- de Oliveira Serrão, E. A., Silva, M. T., Ferreira, T. R., da Silva, V. de P. R., de Sousa, F. de S., de Lima, A. M. M., ... Wanzeler, R. T. S. (2020). Land use change scenarios and their effects on hydropower energy in the Amazon. *Science of The Total Environment*, 744, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140981>
- Ebodé, V. B., Braun, J. J., Nnomo, B. N., Mahé, G., Nkiaka, E., & Riotte, J. (2022). Impact of rainfall variability and land use change on river discharge in South Cameroon. *Water*, 14(6), 941.
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., ... Pokorny, J. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Emiyati, Kusratmoko E, & Sobirin. (2016). Spatial Pattern of Hydrologic Response Unit (Hru) Effect on Flow Discharge of Ci Rasea Watershed Using Landsat Tm in 1997 To 2009. *The International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 13(1), 39–48.
- Erinofiardi, Gokhale, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Bismantolo, P., Suryono, A. F., ... Nuramal, A. (2017). A review on micro hydropower in Indonesia. *Energy Procedia*, 110, 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.146>
- Gracelli, R. R., Magalhães, I. B., Santos, V. J., & Calijuri, M. L. (2020). Effects on streamflow caused by reforestation and deforestation in a Brazilian Southeast Basin: Evaluation by multicriteria analysis and SWAT model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W12-2020, 225–230. Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-3-w12-2020-225-2020>
- Guimberteau, M., Ciais, P., Ducharne, A., Boisier, J. P., Dutra Aguiar, A. P., Biemans, H., ... Langerwisch, F. (2017). Impacts of future deforestation and climate change on the hydrology of the Amazon Basin: a multi-model analysis with a new set of land-cover change scenarios. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1455–1475. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1455-2017>
- Gunawan, W., Muslim, S., & Rahardjo, I. A. (2020). Pengaruh curah hujan dan debit air terhadap produktivitas energi listrik yang dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga air (Studi kasus: Sub Unit PLTA Kracak, Kabupaten Bogor Jawa Barat). *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 5(1), 56–60. <https://doi.org/10.21009/JEVET.0051.09>
- Hadiani, R., Solichin, Rosyid, M., Pariyanto, D., & Hadi, S. (2021). The changes of the start in the wet season and dry season and potential electrical energy on wet season based on hydrology (Case: Kalijirak River, Karanganyar Regency). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 724, null. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012048>
- Hakim, M. L., Yuniarti, N., Sukir, S., & Damarwan, E. S. (2020). Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1), 75–81.

- Ismoyojati, G., Sujono, J., & Jayadi, R. (2019). Studi pengaruh perubahan tataguna lahan terhadap karakteristik banjir Kota Bima. *Journal of Geography of Tropical Environments*, 2(2), 14–27.
- Janjić, J., & Tadić, L. (2023, June 1). Fields of Application of SWAT Hydrological Model—A Review. *Earth (Switzerland)*, Vol. 4, pp. 331–344. MDPI. <https://doi.org/10.3390/earth4020018>
- Kaura, M., Arias, M. E., Benjamin, J. A., Oeurng, C., & Cochrane, T. A. (2019). Benefits of forest conservation on riverine sediment and hydropower in the Tonle Sap Basin, Cambodia. *Ecosystem Services*, 39, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101003>
- Kenea, U., Adeba, D., Regasa, M. S., & Nones, M. (2021). Hydrological Responses to Land Use Land Cover Changes in the Fincha'a Watershed, Ethiopia. *Land*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/land10090916>
- Lima, L. S., Coe, M. T., Soares Filho, B. S., Cuadra, S. V, Dias, L. C. P., Costa, M. H., ... Rodrigues, H. O. (2014). Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: implications for the provision of ecosystem services. *Landscape Ecology*, 29, 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9962-1>
- Lukas, L., Rohi, D., & Tumbelaka, H. H. (2017). Studi kinerja pembangkit listrik tenaga air (PLTA) di daerah aliran sungai (das) Brantas. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 17–23.
- Lyra, B. U., & Rigo, D. (2019). Deforestation impact on discharge regime in the Doce River Basin. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, null, null. <https://doi.org/10.4136/AMBI-AGUA.2370>
- Martínez-Retureta, R., Aguayo, M., Stehr, A., Sauvage, S., Echeverría, C., & Sánchez-Pérez, J.-M. (2020). Effect of Land Use/Cover Change on the Hydrological Response of a Southern Center Basin of Chile. *Water*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010302>
- Obahoundje, S., & Diedhiou, A. (2022). Potential impacts of climate, land use and land cover changes on hydropower generation in West Africa: a review. *Environmental Research Letters*, 17(4), 1–19. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5b3b>
- Ode, M. La, Yiyin, K., & Rudi, S. (2020). Sistem Monitoring Debit Inflow untuk Operasi Harian Pembangkit PLTA Bakaru. *Sinergi*, 18(1), 70–79.
- Panday, P. K., Coe, M. T., Macedo, M. N., Lefebvre, P., & de Almeida Castanho, A. D. (2015). Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, 523, 822–829. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.018>
- Peña-Arancibia, J. L., Bruijnzeel, L. A., Mulligan, M., & van Dijk, A. I. J. M. (2019). Forests as 'sponges' and 'pumps': Assessing the impact of deforestation on dry-season flows across the tropics. *Journal of Hydrology*, 574, 946–963. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.064>
- Posada-Marín, J. A., & Salazar, J. F. (2022). River flow response to deforestation: contrasting results from different models. *Water Security*, 15, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2022.100115>

- Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. H. (2019). Pengaruh luas tutupan lahan hutan terhadap karakteristik hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 333–340.
- Schilling, K. E., Jha, M. K., Zhang, Y., Gassman, P. W., & Wolter, C. F. (2008). Impact of land use and land cover change on the water balance of a large agricultural watershed: Historical effects and future directions. *Water Resources Research*, 44(7), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2007WR006644>
- Singh, V. K., & Singal, S. K. (2017). Operation of hydro power plants-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 610–619. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.169>
- Stickler, C. M., Coe, M. T., Costa, M. H., Nepstad, D. C., McGrath, D. G., Dias, L. C. P., ... Soares-Filho, B. S. (2013). Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(23), 9601–9606. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215331110>
- Tan, M. L., Gassman, P. W., Srinivasan, R., Arnold, J. G., & Yang, X. Y. (2019, May 1). A review of SWAT studies in Southeast Asia: Applications, challenges and future directions. *Water (Switzerland)*, Vol. 11. MDPI. <https://doi.org/10.3390/w11050914>
- AG. Utami, R. W., Lestariningsih, I. D., Wicaksono, K. S., Anggara, A. D., & Lathif, S. (2024). Pengaruh tutupan lahan dan curah hujan terhadap sifat fisik tanah serta debit mata air di hutan cempaka, Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 11(1), 271–281. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.29>
- Wang, Y., Jiang, R., Xie, J., Zhao, Y., Yan, D., & Yang, S. (2019). Soil and water assessment tool (SWAT) model: A systemic review. *Journal of Coastal Research*, 93(SI), 22–30. <https://doi.org/10.2112/SI93-004.1>
- Wariunsora, S., Kusuma, Z., & Suprayogo, D. (2024). Analisis hubungan tutupan lahan dan indikator kesehatan hidrologi DAS Rejoso, Jawa Timur. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 11(1), 289–300. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.31>
- Yusnita, R. (2023). Estimasi karbon serasah di kawasan manifestasi geotermal Gunung Jaboi Kecamatan Sukajaya Kota Sabang.
- Zeilhofer, P., Alcantara, L. H., & Fantim-Cruz, I. (2018). Effects of deforestation on spatio-temporal runoff patterns in the upper Teles Pires Watershed, Mato Grosso, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(5), 1889–1901.

**PENGARUH POWER DINAMIKA OSEANOGRAFI TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI  
MUARA SUNGAI AIR RAMI DAN SELAGAN JAYA, PROVINSI BENGKULU**

*(The Influence of Oceanographic Power Dynamics on Morphological Changes of Air Rami  
and Selagan Jaya Estuary, Bengkulu Province)*

Supiyati<sup>1\*</sup>, Suwarsono<sup>1</sup>, Septi Johan<sup>1</sup>, Dea Apriliani<sup>1</sup>, Elmiati<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universitas Bengkulu, Bengkulu

\*Email: [supiyati\\_116@unib.ac.id](mailto:supiyati_116@unib.ac.id)

Diterima: 23 Desember 2023, Direvisi: 1 Maret 2024, Disetujui: 13 Juni 2024

**ABSTRACT**

*Bengkulu Province has many river estuaries that experience rapid morphological change, making it a watershed problem because it can trigger sedimentation downstream. This research determined the characteristics and influence of oceanographic power dynamics on morphological changes of river estuaries in Bengkulu. The methods are in situ measurements of oceanographic dynamics parameters, visual aerial photography from drones, and maps of the Air Rami and Selagan Jaya Estuary from USGS Landsat-8 satellite imagery. Based on the study's results, the characteristics of the study area have a mixed tidal type leaning to double daily with a formzhal value of 0.509 in the Air Rami and 0.491 in Selagan Jaya. Morphological changes in the estuary are caused by sedimentation, which is influenced by the interaction of oceanographic power dynamics in the form of tides, waves, currents from the watershed, tidal currents, longshore currents, and sediment. This condition is due to the weakening of the current at the mouth of the estuary due to the confluence of tidal currents, currents from upstream of the watershed, and longshore currents so that sediment transport caused by longshore currents is retained and accumulates at the mouth of the estuary. At high tide, the current enters the estuary carrying sediment that has accumulated at the mouth of the estuary. At low tide, when the current speed is slower, it cannot bring the sediment back, so it settles in the estuary. In addition, the inflow of sediment from the upstream watershed into the estuary also contributes to the increasing sedimentation.*

**Keywords:** *Bengkulu; oceanographic dynamics; morphology; estuary*

**ABSTRAK**

Provinsi Bengkulu memiliki banyak muara sungai dengan perubahan morfologi yang sangat cepat, menjadi salah satu permasalahan DAS karena dapat memicu terjadinya sedimentasi di bagian hilir. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik dan pengaruh power dinamika oseanografi terhadap perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu. Metode

yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran in situ parameter dinamika oseanografi, visual foto udara dari drone, dan peta Muara Sungai Air Rami dan Selagan Jaya dari citra satelit USGS Landsat-8. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh karakteristik Muara Sungai Air Rami dan Selagan Jaya memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dengan bilangan formzhal 0,509 di Muara Sungai Air Rami dan 0,491 di Selagan Jaya. Perubahan morfologi muara sungai ini disebabkan oleh terjadinya sedimentasi di muara, yang dipengaruhi oleh interaksi power dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus dari arah hulu DAS, arus pasang surut, *longshore current*, dan sedimen. Kondisi ini akibat adanya pelemahan arus di mulut muara karena pertemuan arus pasang surut, arus dari arah hulu DAS, dan *longshore current* sehingga transport sedimen yang diakibatkan *longshore current* tertahan dan menumpuk di mulut muara. Saat pasang, arus masuk ke muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara. Saat arus surut, kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan mengendap di muara. Selain itu adanya influks sedimen dari hulu DAS yang masuk ke muara juga berkontribusi meningkatkan sedimentasi di muara.

**Kata kunci: Bengkulu; dinamika oseanografi; morfologi; muara sungai**

## I. PENDAHULUAN

Provinsi Bengkulu merupakan wilayah pesisir yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia, sehingga semua aktifitas di pesisir akan dipengaruhi oleh dinamika oseanografi baik secara langsung maupun tidak langsung. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa Provinsi Bengkulu memiliki banyak muara Sungai, lebih kurang 52 mulai dari perbatasan Provinsi Lampung, yaitu Kabupaten Kaur sampai dengan perbatasan Provinsi Sumatera Barat, yaitu Kabupaten Mukomuko (Suwarsono *et al.*, 2009; Supiyati *et al.*, 2021). Muara adalah bagian akhir dari sebuah sungai atau aliran air lainnya yang mengalir ke laut, danau, atau sungai lain. Di muara, air dari sungai bertemu dengan air dari badan air yang lebih besar, sehingga terjadi percampuran air tawar dan air asin jika muara tersebut bertemu dengan laut. Muara sungai merupakan wilayah yang sangat dinamis, karena terjadinya suatu proses dan perubahan,

baik lingkungan fisik maupun biologis. Selain itu muara juga merupakan sumber zat hara dan bahan organik yang diangkut lewat sirkulasi pasang surut, serta sebagai tempat berlindung, tempat mencari makanan, tempat untuk bereproduksi, dan/atau tempat tumbuh besar terutama bagi sejumlah spesies ikan (Purba, Lizalidiawati, & Sugianto, 2021).

Berdasarkan hasil pengamatan melalui *google earth* dan survei langsung di lapangan terlihat bahwa sebagian besar muara sungai di Provinsi Bengkulu mengalami perubahan morfologi dan arah aliran yang sangat cepat, terutama muara sungai di Bengkulu bagian utara. Perubahan yang terjadi ini disebabkan adanya sedimentasi di sekitar muara yang diduga disebabkan oleh *power* dinamika oseanografi perairan tersebut. *Power* dinamika oseanografi adalah kekuatan parameter oseanografi berupa pasang surut, arus (arus pasang surut dan *longshore current*), gelombang, angin,

debit sungai, dan sedimen. Morfologi muara sungai sendiri merupakan geometri (bentuk dan ukuran), jenis, sifat dan perilaku di muara sungai dengan segala aspek dan perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu (Kurniawan, Sutikno, & Sujatmoko, 2017). Perubahan morfologi ini akan mengakibatkan banjir dan rob sekitar pesisir (Pattiselanno, 2017; Setiyono *et al.* 2020).

Menurut Saputra *et al.* (2022), proses sedimentasi yang terjadi di muara disebabkan oleh faktor fisis dan non-fisis. Faktor fisis berupa pasang surut, arus laut, dan debit sungai. Sedangkan non-fisis berupa adanya kegiatan pembangunan di wilayah lain yang mengakibatkan berubahnya pola hidrodinamika perairan tersebut sehingga terjadi penumpukan sedimen di tempat tertentu. Proses sedimentasi mengakibatkan pembelokan suatu muara sungai, apabila ini terjadi terus menerus maka sedimen akan menutupi muara sungai dan muka air di muara yang merupakan bagian dari hilir DAS (Daerah Aliran Sungai) akan naik (Vironita, Rispiningtati, & Marsudi, 2012; Tarigan, 2022). Faktor fisis berupa arus sejajar pantai (*longshore current*) dapat menggerakkan massa air pada saat arus menuju ke arah pantai, sehingga menyebabkan terjadinya pengangkutan sedimen dari dasar laut berpindah ke tempat lain, yaitu mengendap di muara (Suhana, 2015). Selain itu transport sedimen yang dibangkitkan oleh arus dan gelombang laut juga dapat menyebabkan perubahan morfologi pantai akibat adanya sedimentasi dan abrasi (Supiyati *et al.*, 2022; Supiyati & Ekawita, 2019).

Perubahan morfologi di muara sungai juga dipengaruhi oleh pasang surut dan aliran air yang masuk ke dalam muara sungai, karena saat pasang terjadi pertemuan arus pasang surut yang masuk ke muara dengan aliran dari hulu yang menuju ke laut (Kisnarti & prasista, 2014; Wiguna *et al.*, 2020; Kurniawan, Sutikno, & Sujatmoko, 2017). Indrayanti *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa arus pasang surut yang merupakan gerak horizontal badan air menuju dan menjauhi pantai bersamaan dengan perubahan naik turunnya muka air yang disebabkan oleh gaya pembangkit pasang surut. Fenomena arus pasang surut ini lebih terasa pada daerah perairan semi tertutup seperti teluk, perairan dangkal, dan muara sungai.

Perubahan morfologi akibat sedimentasi yang terjadi di muara ini, diduga merupakan kontribusi di dalam DAS, karena sedimen dari DAS yang merupakan material hasil erosi di hulu akan terbawa oleh arus menuju ke muara. Material yang terbawa oleh arus ini akan semakin meningkat jika di hulu DAS terjadi hujan. Jika pada saat yang bersamaan terjadi kondisi pasang, maka arus dari laut juga masuk ke muara dan bertemu dengan arus dari DAS. Kondisi ini akan mengakibatkan arus menjadi stagnan atau melemah, sehingga material sedimen yang terbawa oleh arus akan mengendap di lokasi arus yang melemah ini. Selanjutnya terjadilah penumpukan sedimen yang mengakibatkan terjadi pendangkalan atau sedimentasi di muara dan akhirnya semakin lama akan menyebabkan perubahan morfologi muara. Dampak yang ditimbulkan akibat kondisi ini adalah

banjir dan terganggunya ekosistem di muara (Sauda, Nugraha, & Hani'ah, 2019).

Saat ini, penelitian yang melakukan kajian secara ilmiah mengenai penyebab perubahan morfologi muara di Bengkulu, khususnya mengenai *power* dinamika oseanografi yang mempengaruhi perubahan morfologi muara sungai berkaitan dengan permasalahan DAS belum pernah dilakukan. Selama ini kajian dinamika oseanografi pernah dilakukan hanya di pesisir pantai Bengkulu yang lebih memfokuskan pada perubahan garis pantai dan kecepatan abrasi yang terjadi. Kurangnya informasi mengenai *power* dinamika oseanografi sebagai faktor yang mempengaruhi perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu akan berdampak pada semakin besarnya kerugian yang terjadi, diantaranya banjir, terganggunya ekosistem di hilir DAS, dan akibat sedimentasi yang tinggi ini juga akan mengganggu aktifitas nelayan yang keluar masuk muara dari atau menuju ke laut.

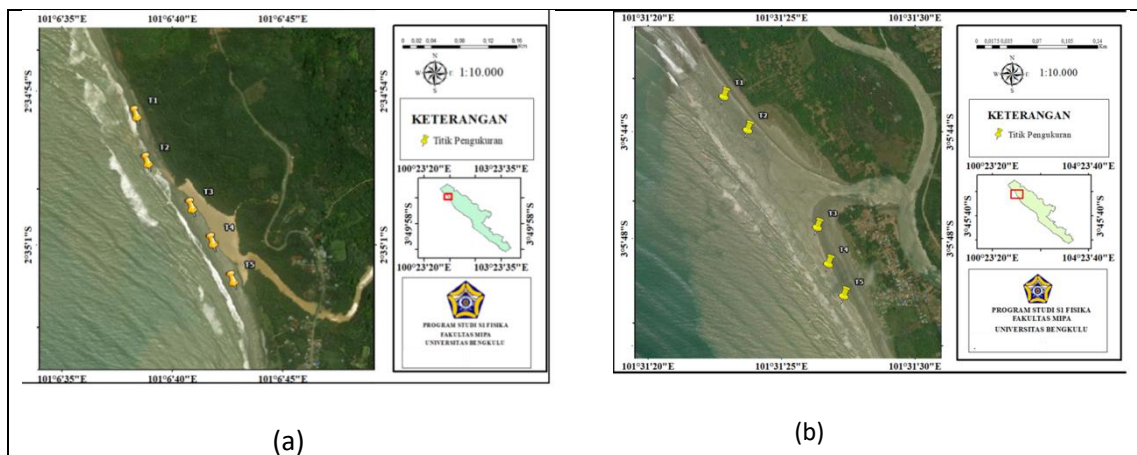
Berdasarkan permasalahan di atas dan beberapa penelitian sebelumnya, serta

sebagai upaya mitigasi menjaga kesetabilan lingkungan muara dan meminimalkan kerugian akibat perubahan morfologi muara yang sangat cepat, maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan karakteristik dan pengaruh *power* dinamika oseanografi terhadap perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret sampai Oktober 2023 dengan meninjau dua muara sungai yang memiliki arah aliran yang berbeda di Bengkulu bagian utara, tepatnya di Muara Sungai Air Rami, Kecamatan Ipuh yang berada pada koordinat  $3^{\circ}5'39,34''$ -  $3^{\circ}5'45,84''$  LS dan  $101^{\circ}31'20,24''$  –  $101^{\circ}31'27,30''$  BT dan Muara Sungai Selagan Jaya, Kecamatan Kota Mukomuko, Kabupaten Mukomuko dengan titik koordinat  $2^{\circ}34'56,89''$ -  $2^{\circ}34'55,35''$  LS dan  $101^{\circ}6'37,58''$  -  $101^{\circ}6'47,12''$  BT. Adapun lokasi penelitian seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar (Figure)1. Lokasi penelitian (Research Location) a) Muara Sungai Air Rami (Air Rami Estuary), b) Muara Sungai Selagan Jaya (Selagan Jaya Estuary)  
 Sumber (Source): Google Earth, diakses: 1 Februari 2023

## B. Bahan dan Alat

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, *Tide Gauge*, *Current Meter*, *Barometer*, *Drone*, *GPS*, *Arcgis 10.3*, *GrADS*, *SMB (Sverdrup Munk Bretchneider)*, *Laptop*, *WRPLOT*, *Citra satelit USGS (United States Geological Survey)* *Landsat-8*, *Data Marine Copernicus*, dan *Tidal Model Driver (TMD) berbasis Matlab*.

## C. Metode Penelitian

Sebelum pengambilan data, pada penelitian ini dilakukan studi literatur terlebih dahulu untuk mendukung kegiatan penelitian secara teori dan survei awal. Pada penelitian ini data yang digunakan ada dua, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa data angin dari *Marine Copernicus*, data pasang surut dari TMD 15 hari, dan data foto bentuk muara dari *USGS* 10 tahun terakhir, sedangkan data primer merupakan data hasil pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan.

Pengukuran lapangan dilakukan untuk memperoleh data-data *power* dinamika oseanografi berupa data kecepatan dan arah *longshore current* (arus sejajajr pantai), kecepatan arus pasang surut, ketinggian dan periode gelombang laut, serta parameter debit sungai. Kecepatan *longshore current* (arus sejajajr pantai) diukur di bagian pantai di depan muara menggunakan *Current Metter*. Pengukuran ketinggian gelombang laut diukur menggunakan *Tide Gauge* yang dilakukan mulai pukul 07.09 WIB sampai dengan pukul 19.00 WIB dengan interval satu menit. Selanjutnya pengukuran periode gelombang laut menggunakan

*stopwatch* dengan pengulangan sebanyak 20 kali. Tahap berikutnya pengukuran parameter debit sungai berupa pengukuran kecepatan arus di muara menggunakan *current meter* pada 9 titik setiap lokasi penelitian sebagai perwakilan dari mulut, hilir, dan hulu muara sungai dengan interval waktu 1 menit setiap titik. Nilai luas penampang melintang muara sungai diperoleh dengan mengukur lebar permukaan muara sungai dan kedalaman muara sungai, dan menurut (Pradipta, Saputro, & Satriadi, 2013) debit sungai dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$Q = v \times A \quad (1)$$

dimana  $Q$  adalah debit,

$v$  adalah kecepatan arus, dan

$A$  adalah luas penampang sungai.

Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel sedimen yang berupa sedimen dasar dan sedimen layang di 3 titik (tengah muara,  $\frac{3}{4}$  sisi kiri muara,  $\frac{3}{4}$  sisi kanan muara) masing-masing lokasi mewakili mulut, hilir, dan hulu muara.

Dalam penelitian ini data sekunder angin dan arus bulanan diperoleh dari *Marine Copernicus*, selama 10 tahun terakhir (2013-2022) dengan resolusi  $0,25^0 \times 0,25^0$ . Data arus dan angin ini diolah dengan software *GrADS* untuk dipetakan dalam bentuk vektor sebaran kecepatan dan arah angin, serta kecepatan dan arah arus. Data angin ini kemudian diolah menggunakan metode *SMB*, dimana data angin ( $U$ ) dikoreksi pada ketinggian 10 meter ( $U_{(10)}$ ) kemudian ditransformasikan menjadi angin laut ( $U_{(w)}$ ), sehingga diperoleh periode gelombang signifikan ramalan ( $T_s$ ) dan tinggi gelombang

signifikan (Hs) ramalan. Selanjutnya dilakukan verifikasi data lapangan dan data peramalan dengan penentuan nilai *Mean Relative Error* (MRE) menggunakan Persamaan 2.

$$MRE = \frac{|X-C|}{X} \times 100\% \quad (2)$$

Presentase kebenaran dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\text{Kebenaran \%} = 100 - \frac{\text{Total MRE}}{\text{Jumlah Data}} \quad (3)$$

Data pasang surut dari TMD selama 15 hari diolah menggunakan metode *admiralty* untuk mendapatkan komponen harmonik, kemudian dilakukan perhitungan bilangan *Formzal* berdasarkan Persamaan 4 (Triatmodjo, 2016; Schureman, 1958; Supriyadi, Siswanto, Widodo, & Pranowo. 2018; Ichsari *et al.*, 2020; Indrastuti dan Chen, 2022).

$$F = \frac{O_1}{M_2} + \frac{K_1}{S_2} \quad (4)$$

Keterangan (*remarks*):

- F = bilangan Formzahl
- O<sub>1</sub> = unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- K<sub>1</sub> = unsur pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik matahari
- M<sub>2</sub> = unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- S<sub>2</sub> = unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Setelah diperoleh bilangan *Formzal*, selanjutnya ditentukan tipe pasang surut masing - masing muara. Pengolahan data primer pasang surut, arus, dan gelombang ditampilkan dalam bentuk grafik *time series*, yang kemudian dilakukan

perhitungan energi gelombang laut dan debit sungai di masing-masing muara. Tahap berikutnya pengolahan data sedimen, diolah di laboratorium untuk memperoleh konsentrasi sedimen dari *suspended load* (sedimen layang) dan diameter sedimen untuk *bad load* (sedimen dasar). Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan jatuh sedimen dan *influks* sedimen menggunakan Persamaan 5 dan Persamaan 6 (Supiyati, Suwarsono, & Asterika, 2015; Driyogo *et al.*, 2013).

$$V_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_D} \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)} \quad (5)$$

$$\text{Influks sedimen} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{Q_{total} - V_s}{\rho_s} \quad (6)$$

Keterangan (*remarks*):

- V<sub>s</sub> = Kecepatan sedimen mengendap
- D = Diameter partikel sedimen
- C<sub>D</sub> = Koefisien hambatan sedimen (C<sub>D</sub> = 0,4)
- ρ<sub>s</sub> = Massa jenis sedimen
- ρ = Massa jenis air
- g = Gaya gravitasi
- Q<sub>total</sub> = Debit sedimen total

Selanjutnya adalah pengambilan foto menggunakan *drone* di ketinggian 50 meter di atas permukaan pantai dengan pengulangan sebanyak 10 kali, hasil foto *drone* kemudian diolah menggunakan *ArcGis* untuk melihat visualisasi arah dominan *longshore current*, sedangkan kecepatan *longshore current* menurut Kristanto *et al.* (2022) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 7.

$$v = 1,17 (g \cdot H_b \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Keterangan (*remarks*):

- v = Kecepatan *longshore current*
- H<sub>b</sub> = Ketinggian Gelombang pecah
- α<sub>b</sub> = Sudut datang gelombang pecah

Hasil pengolahan data *power* oseanografi berupa pasang surut, *longshore current*, arus di muara, ketinggian dan periode gelombang, angin, debit, dan sedimen dianalisis secara kuantitatif dan deskriptif selanjutnya analisis dihubungkan terhadap perubahan morfologi muara dari data citra satelit USGS Landsat-8.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Gelombang Laut

Hasil pengukuran tinggi gelombang dan periode gelombang yang dilakukan pada pukul 07:09 WIB sampai dengan 18:00 WIB menunjukkan bahwa tinggi gelombang di pantai Air Rami lebih besar dari pada Pantai Selagan Jaya. Hal ini disebabkan karena pengaruh angin pada saat penelitian serta kedalaman perairan yang berbeda dari kedua pantai ini. Menurut Triatmodjo (2012) ketinggian gelombang laut akan menimbulkan gelombang pecah yang tinggi. Gelombang pecah yang tinggi ini jika membentuk sudut tertentu terhadap garis pantai dapat menimbulkan arus *longshore current*. Selain hasil pengukuran lapangan secara langsung, ketinggian gelombang juga diperoleh dari hasil peramalan menggunakan data sekunder yaitu data angin selama 10 tahun terakhir (2013-2022) yang hasilnya tersaji pada Tabel 1.

Verifikasi data ketinggian dan periode gelombang hasil pengukuran lapangan

dengan hasil ramalan diperoleh nilai kebenaran 98,9% untuk Pantai Air Rami, sedangkan pada Pantai Selagan Jaya sebesar 99,43%. Hal ini menunjukkan bahwa data hasil pengukuran lapangan cukup bersesuaian dengan data ramalan, walaupun masih terlihat tinggi dan periode gelombang hasil ramalan lebih kecil dari hasil pengukuran lapangan karena data pengukuran lapangan hanya data hasil pengukuran sesaat di musim peralihan I. Terlihat pada Tabel 1 periode gelombang laut Pantai Air Rami lebih besar dari pada Pantai Selagan Jaya.

#### B. Arus

Hasil pengukuran kecepatan arus rata-rata diperoleh pada Muara Sungai Air Rami saat pasang sebesar 0,50 m/s dan saat surut sebesar 0,30 m/s. Sedangkan pada Muara Sungai Selagan Jaya kecepatan arus rata – rata saat pasang sebesar 0,41 m/s dan saat arus surut sebesar 0,19 m/s.

Kecepatan arus pada Muara Sungai Air Rami lebih besar dibandingkan dengan kecepatan arus pada Muara Sungai Selagan Jaya, kondisi ini dipengaruhi oleh kondisi di lapangan karena ketika pengambilan data berlangsung, kecepatan angin berhembus di Muara Sungai Air Rami lebih besar dibandingkan dengan kecepatan angin di Muara Sungai Selagan Jaya, karena angin adalah salah satu faktor pembangkit arus.

Tabel (Table) 1. Perbandingan Ts dan Hs peramalan dengan pengukuran di lapangan (*Comparison of Ts and Hs of forecasting with the field measurements*)

Lokasi	Gelombang	Ts(s)	Hs(m)
Air Rami	Lapangan	8,14-9,8	1,15-1,33
	Peramalan	4,04	0,77
Selagan Jaya	Lapangan	7,22-7,54	0,53-0,66
	Peramalan	3,1	0,4

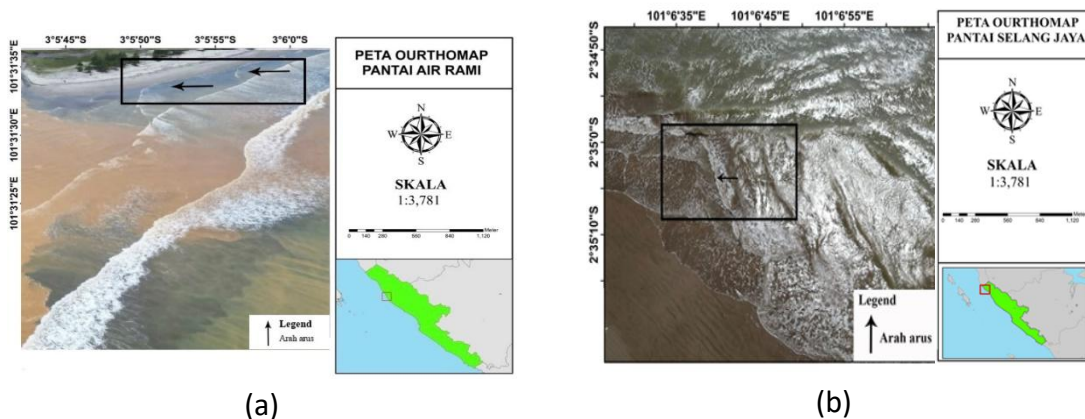
Menurut Bernawis (2000), faktor pembangkit arus permukaan adalah angin yang bertiup di atasnya, dan tenaga angin dapat memberikan pengaruh terhadap arus permukaan sebesar 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Faktor lain yang menjadi penyebab perbedaan kecepatan arus Muara Sungai Air Rami dengan Muara Sungai Selagan Jaya adalah pada bagian sebelah kanan Muara Sungai Selagan Jaya terdapat sampah berupa kayu kayu kecil, sedangkan pada Muara Sungai Air Rami kondisi di muara cenderung bersih sehingga tidak ada hambatan yang dapat mempengaruhi arus. Hal ini sesuai dengan Putra & Marfai (2012) yang menyatakan bahwa kecepatan arus dipengaruhi oleh gesekan dengan daratan, angin, kontur sungai, lokasi Sungai, dan juga gangguan seperti gulma, sampah, atau juga tanaman ganggang yang tumbuh di sekitar sungai.

Selain kecepatan arus di muara, terdapat juga kecepatan arus di pantai yang mempengaruhi perubahan morfologi muara, yaitu *longshore current*. Hasil visualisasi *longshore current*

menggunakan *drone* pada ketinggian 50-meter menunjukkan bahwa *longshore current* di perairan pantai Air Rami dan Selagan Jaya dominan bergerak dari arah selatan ke utara seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Berdasarkan visualisasi Gambar 2 kemunculan *longshore current* di perairan Pantai Air Rami lebih jelas dibandingkan dengan di perairan Pantai Selagan Jaya, hal itu dikarenakan sudut gelombang pecah di Pantai Air Rami lebih besar. Kemunculan *longshore current* dipengaruhi oleh sudut dan tinggi gelombang pecah. Semakin besar sudut gelombang pecah maka akan semakin besar pula *longshore current* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengamatan *longshore current* di Muara Sungai Selagan Jaya dan Muara Sungai Air Rami dapat ditentukan kecepatan *longshore current* berdasarkan Persamaan 4 yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

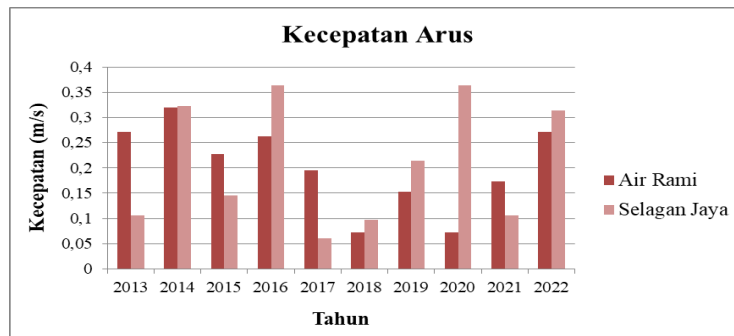
Grafik pola kecepatan arus dari *Marine Copernicus* pada musim peralihan 1 yang diwakili bulan Maret selama 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 (Figure 2). Visualisasi longshore current menggunakan drone (*Visualization of longshore current using drone*) (a) Muara Sungai Air Rami (*Air Rami Estuary*); (b) Muara Sungai Selagan Jaya (*Selagan Jaya Estuary*)

Tabel 2 (Table 2). Kecepatan longshore current (Longshore current velocity)

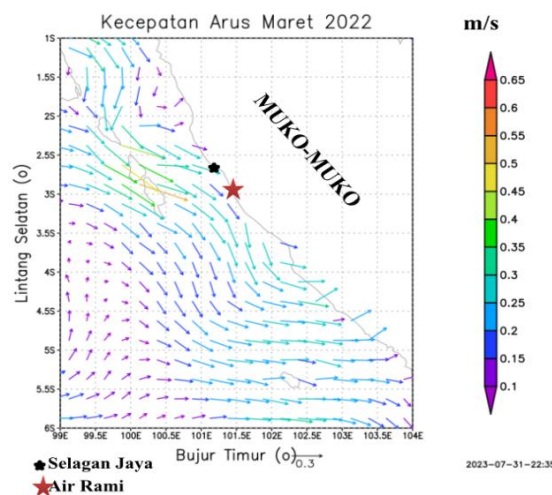
Data Lapangan (Field Data)	Parameter (Parameters)		
	Sudut datang gelombang ( $\alpha_o$ )	Sudut gelombang pecah ( $\alpha_b$ )	V(m/s)
Pantai Air Rami (Air Rami Coast)	265	9,69	0,96
Pantai Selagan Jaya (Selagan Jaya Coast)	115	7,44	0,78



Gambar 3 (Figure 3). Kecepatan Arus Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya (Current Velocity of Air Rami Estuary and Selagan Jaya Estuary)

Kecepatan arus tertinggi pada musim peralihan 1 di Muara Sungai Air Rami tahun 2014 yaitu 0,319 m/s dan kecepatan arus terendah yaitu 0,072 m/s pada tahun 2018, dengan pergerakan arah arus dari barat laut. Sedangkan di Muara Sungai Selagan Jaya kecepatan arus tertinggi pada tahun 2016 dan tahun 2020 yaitu 0,363 m/s dan kecepatan arus terendah yaitu 0,061 m/s pada tahun 2017, dengan pergerakan arah arus dari tenggara. Hal ini bersesuaian dengan Setiawan, Prasita, & Widagdo (2019) yang menyatakan bahwa

arus yang disebabkan oleh angin biasanya bersifat musiman yang mana pada satu musim arus mengalir pada satu arah tetap dan di musim lainnya akan berubah arah sesuai perubahan arah angin yang terjadi. Menurut Bayhaqi, Iskandar, & Surinati (2017) di permukaan, arus laut cenderung dipengaruhi oleh respon angin yang bertiup di atasnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 pola arah arus bulanan di Muara Selagan Jaya dan Muara Air Rami musim peralihan I yang diwakili bulan Maret tahun 2022.



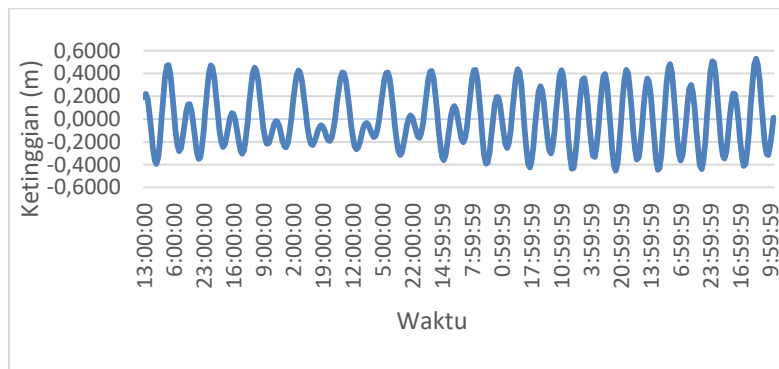
Gambar 4 (Figure 4). Pola arah arus Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya (Current Direction Pattern in Air Rami Estuary and Selagan Jaya Estuary)

### C. Pasang Surut

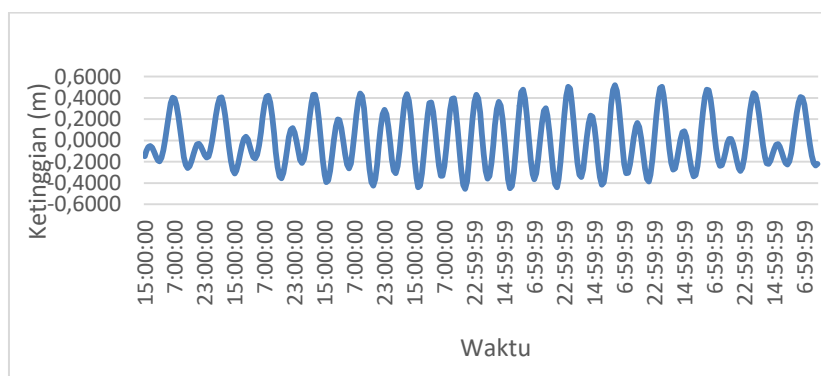
Dalam penelitian ini data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut 15 hari dari data TMD (*Tidal Model Driver*) yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dan 6. Data TMD menggunakan konstanta pasang surut global dalam perhitungan prediksi pasang surutnya (Ramdhan, 2011). Berdasarkan data pasang surut TMD ini diperoleh komponen harmonik untuk Muara Sungai Air Rami adalah  $S_2$  sebesar 0,114  $K_1$  sebesar 0,132  $O_1$  sebesar 0,080 dan  $M_2$  sebesar 0,302. Sedangkan Muara Sungai Selagan Jaya didapatkan komponen harmonik  $S_2$  sebesar 0,116  $K_1$  sebesar 0,128  $O_1$  sebesar 0,078 dan  $M_2$  sebesar 0,302.

Selanjutnya dari nilai komponen

harmonik ini dilakukan perhitungan bilangan *formzal* menggunakan Persamaan (4), dan diperoleh bilangan *formzal* untuk Muara Sungai Air Rami sebesar 0,509 dan Muara Sungai Selagan Jaya sebesar 0,491, sehingga tipe pasang surut dari kedua muara ini adalah campuran condong harian ganda. Menurut menurut Supriyadi, *et al.*, 2018; Ichsari *et al.*, 2020; Indrastuti dan Chen (2022) tipe pasang surut ini memiliki karakteristik dalam satu hari terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Sesuai dengan Ichsari *et al.* (2020) tipe pasang surut ditentukan selain dari faktor astronomi tetapi juga oleh faktor dari luar misalnya bentuk morfologi pantai.



Gambar 5 (Figure 5). Grafik Time Series Pasang Surut di Muara Sungai Air Rami (*Tidal Time Series Graph of Air Rami Estuary*)



Gambar 6 (Figure 6). Grafik Time Series Pasang Surut di Muara Sungai Selagan Jaya (*Tidal Time Series Graph of Selagan Jaya Estuary*)

#### D. Debit Sungai

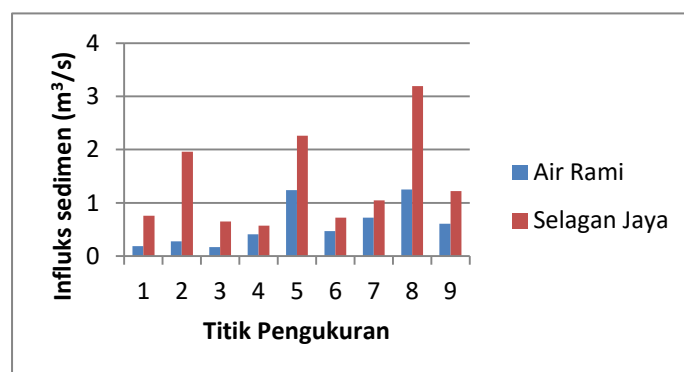
Berdasarkan parameter yang diperoleh dari pengukuran lapangan berupa kedalaman sungai, lebar permukaan sungai, dan kecepatan aliran sungai, diperoleh debit rata-rata Muara Sungai Air yaitu 23,85 m<sup>3</sup>/s dan Muara Sungai Selagan Jaya sebesar 73,83 m<sup>3</sup>/s. Terlihat debit sungai Muara Sungai Selagan Jaya lebih besar dibandingkan dengan Muara Sungai Air Rami, hal ini disebabkan karena luas penampang sungai yang besar. Luas penampang sungai yang besar ini dipengaruhi juga oleh kedalaman, lebar dan luasnya DAS. Hal ini bersesuaian dengan Puteri, Putra, & Adriat (2020) yang menyatakan bahwa besar kecilnya nilai debit aliran tergantung pada luas penampang aliran dan kecepatan arus rata-rata, dimana luas penampang dipengaruhi oleh kedalaman dan lebar dari sungai.

#### E. Sedimen

Sedimen yang ditinjau dalam penelitian ini adalah sedimen layang dan sedimen dasar yang ada di muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya. Sedimen ini adalah akumulasi dari sedimen angkutan dari arah laut hasil dari abrasi dan juga sedimen hasil erosi dari

hulu (DAS). Perubahan morfologi muara salah satunya dapat dilihat dari besarnya influx sedimen yang terdapat di muara tersebut. *Influks* sedimen merupakan jumlah besaran massa sedimen yang mengalir menuju suatu wilayah melalui daerah tertentu yang tegak lurus terhadap aliran per satuan waktu, dan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 6 (Pradipta *et al.*, 2013; Driyogo *et al.*, 2013). Grafik hasil perhitungan influks sedimen tersaji pada Gambar 7.

Terlihat bahwa *Influks* sedimen di Muara Sungai Selagan Jaya dominan lebih tinggi dibandingkan dengan Muara Sungai Air Rami. *Influks* sedimen di Muara Sungai Selagan Jaya tertinggi sebesar 3,19 m<sup>3</sup>/s pada titik 8 yang terletak di hulu muara sungai dan terendah sebesar 0,57 m<sup>3</sup>/s terjadi pada titik 4 yang terletak di tengah muara sungai. Hal ini disebabkan karena besarnya debit sungai dan debit sedimen dari bagian hulu muara (DAS). *Influks* sedimen dipengaruhi oleh debit sedimen yang tertahan oleh debit air laut yang masuk melalui mulut muara sungai, sehingga kecepatan arus melemah yang mengakibatkan banyaknya *influks* sedimen yang mengendap dan akhirnya terbentuk sedimentasi (pendangkalan).



Gambar 7 (Figure 7). Influks Sedimen (Sedimentation Influks)

Hal ini bersesuaian dengan Driyogo *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa jika muatan sedimen dari DAS lebih besar daripada sedimen yang terendap, dan nilai debit muatan sedimen lebih besar daripada laju sedimentasi maka akan ada influks sedimen yang masuk ke laut pada daerah tersebut.

Sedimentasi dipengaruhi oleh besarnya massa jenis sedimen, diameter sedimen, dan kecepatan arus, karena sedimen akan lebih cepat mengendap pada arus yang tenang seperti di Muara Sungai Selagan Jaya. Selain itu karena aliran sungai yang tidak terlalu dalam menyebabkan sedimen cepat mengendap di dasar sungai sehingga lama kelamaan akan mengakibatkan perubahan morfologi muara. Hal ini bersesuaian dengan Rosyadewi & Hidayah (2020) yang menyatakan bahwa debit suspensi juga mempengaruhi laju sedimentasi yang terdapat di muara sungai. Karena debit tersebut membawa sedimen tersuspensi yang akan terendapkan di dasar perairan saat kecepatan aliran sungai menuju laut tidak mampu lagi membawa material sedimen maka akan terjadi pendangkalan pada daerah muara.

## F. Morfologi Muara

Morfologi Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya selama 10 tahun terakhir (2014 – 2023) dapat dilihat dengan bantuan citra satelit dari situs USGS seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 untuk perubahan morfologi Muara Sungai Air Rami, dan Muara Sungai Selagan Jaya.

Perubahan morfologi Muara Sungai Air Rami selama 10 tahun yang diwakili oleh

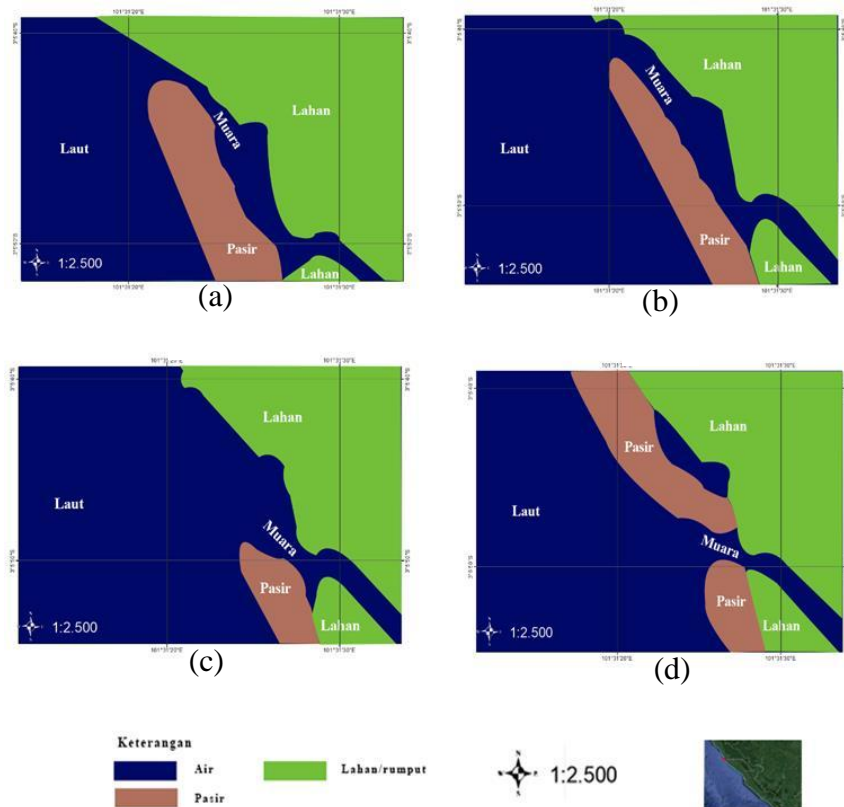
tahun 2014, 2017, 2020, dan 2023. Perubahan yang terjadi pada Muara Sungai Air Rami dipengaruhi adanya pendangkalan akibat interaksi arus, gelombang, pasang surut, dan sedimentasi. Terlihat pada tahun 2014 perubahan morfologi yang terjadi yaitu mengecilnya aliran muara. Tahun 2017 lidah pasir terlihat mengecil dan terjadi perubahan morfologi muara yaitu melebarnya aliran muara yang ditunjukkan oleh Gambar 8 (b). Tahun 2020 terjadi pergerakan sedimen pada bagian mulut muara, sehingga lidah pasir menjadi lebih pendek, yang menyebabkan bagian tengah muara berubah menjadi mulut muara seperti yang terlihat pada Gambar 8 (c). Sedangkan di tahun 2023 perubahan morfologi muara terjadi pada aliran bagian mulut, hulu dan tengah muara sedikit menyempit, yang kemudian terjadi penumpukan sedimen dibagian mulut muara bagian kiri dan kanan muara yang menyebabkan terbentuknya genangan air di sebelah mulut muara seperti yang terlihat pada Gambar 8 (d).

Perubahan morfologi Muara Sungai Selagan Jaya selama 10 tahun seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9, dimana perubahan dari tahun 2014 yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (a) ke tahun 2017 yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (b) terlihat mulut, tengah dan hulu muara menjadi lebih lebar dan sedimentasi bertambah disisi kanan dan kiri mulut muara. Tahun 2020 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (c) terjadi perubahan morfologi muara dibagian mulut dan tengah namun tidak terlalu signifikan, dan tampak di bagian mulut muara sedimentasi terlihat lebih banyak

dari pada tahun 2017. Sedangkan pada tahun 2023 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 (d) terlihat perubahan pada bagian mulut, tengah dan hulu muara, yaitu bagian mulut lebih banyak penumpukan sedimen, bagian tengah lebih menyempit dan bagian hulu lebih melebar dibandingkan dengan tahun 2020.

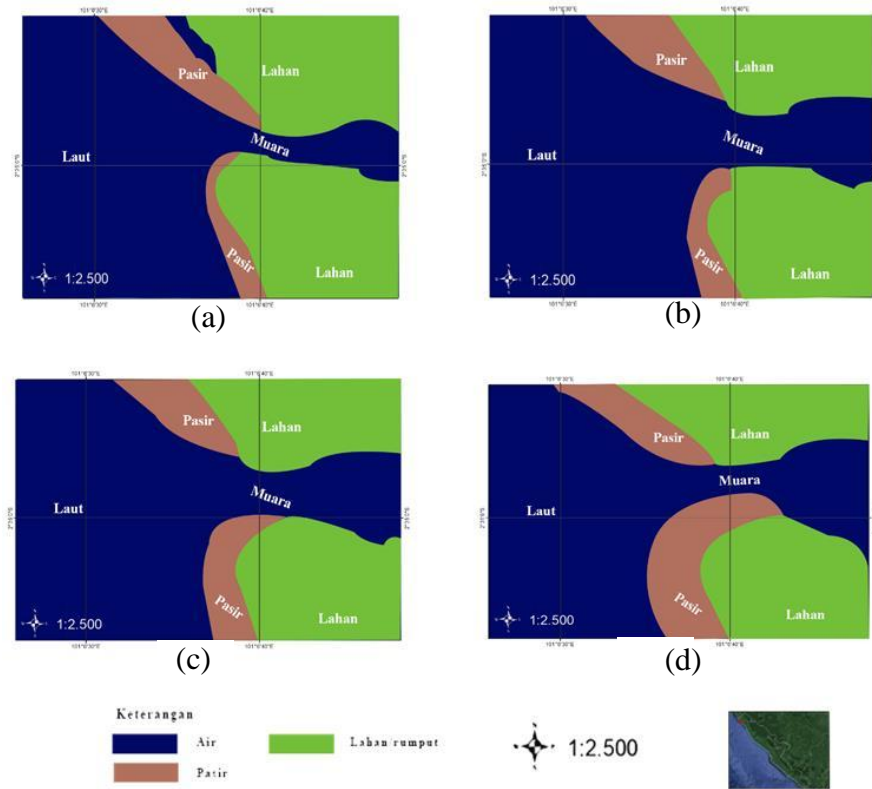
Perubahan yang terjadi pada kedua muara ini disebabkan oleh faktor transport sedimen yang digerakan oleh arus baik itu arus longshore current dari perairan pantai dan fenomena pasang surut yang menghasilkan arus pasang surut di muara. Terlihat perubahan morfologi muara lebih signifikan terjadi di Muara Sungai Air Rami dari pada perubahan morfologi Muara Sungai

Selagan Jaya. Hal ini disebabkan oleh ketinggian gelombang dan kecepatan angin yang membangkitkan arus dan juga ketinggian pasang surut pada Muara Sungai Air Rami lebih besar dari pada Muara Sungai Selagan Jaya. Selain itu berat jenis sedimen pada Muara Sungai Air Rami lebih kecil dari pada Muara Sungai Selagan Jaya, dimana berat jenis sedimen yang kecil lebih mudah digerakan oleh arus yang besar, pergerakan sedimen ini dapat mempengaruhi perubahan yang signifikan pada Muara Sungai Air Rami. Hal ini bersesuaian dengan penelitian Kurniawan, Sutikno, & Sujatmoko (2017) yang menyatakan bahwa arus pasang surut mempengaruhi pergerakan sedimen yang terdapat pada suatu perairan.



Gambar 8 (Figure 8). Perubahan Morfologi Muara Sungai Air Rami (Morphological Changes of the Air Rami Estuary) (a) tahun 2014 (year 2014); (b) tahun 2017 (year 2017); (c) tahun 2020 (year 2020); (d) tahun 2023 (year 2023)

Sumber (Source): USGS, 2023



Gambar 9 (Figure 9). Perubahan Morfologi Muara Sungai Selagan Jaya (*Morphological Changes of the Selagan Jaya Estuary*) (a) tahun 2014 (*year 2014*); (b) tahun 2017 (*year 2017*); (c) tahun 2020 (*year 2020*); (d) tahun 2023 (*year 2023*)

Sumber (Source): USGS, 2023

Menurut Rosyadewi & Hidayah (2020) kecepatan arus akan cenderung melemah ketika mencapai ke daerah muara sungai karena interaksi arus dari laut dengan arus dari sungai yang arahnya saling berlawanan terjadi percampuran, sehingga sedimen yang terangkut akan mengendap pada daerah tersebut atau disekitar muara yang dikenal dengan sedimentasi. Kondisi oseanografi sangat berpengaruh terhadap proses sedimentasi dan abrasi di pantai (Handoyo & Suryputro, 2015).

Selain itu kondisi aliran sungai juga dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan di muara sungai akibat banyaknya endapan di sekitar sungai. Menurut Pangestu, Kushadiwijayanto, &

Nurrahman (2020) yang menyatakan bahwa faktor fisik yang berasal dari daerah sungai cenderung dipengaruhi oleh aliran sungai dan kecepatan arus di muara, sedangkan dari daerah laut cenderung dipengaruhi oleh pasang surut dan gelombang. Gelombang yang terjadi juga mempengaruhi terjadinya *longshore current*, yang secara tidak langsung juga mempengaruhi perubahan morfologi muara. Berdasarkan hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa power dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus sungai, arus pasut, *longshore current* dan sedimen sangat mempengaruhi perubahan morfologi muara, yang mengakibatkan terjadinya perubahan morfologi Muara Sungai Air

Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya, Karena transport sedimen yang diakibatkan *longshore current* tertahan dan menumpuk di mulut muara, karena terjadi pelemahan arus akibat interaksi pertemuan arus didaerah mulut muara. Saat pasang arus masuk pada muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara masuk ke dalam muara, dan saat arus surut kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan terjadi pengendapan di bagian arus yg mengecil di muara.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan morfologi muara disebabkan oleh sedimentasi sebagai akibat akumulasi interaksi yang kompleks dari semua parameter *power* oseanografi di muara, baik dari laut maupun dari DAS. Kondisi ini jika dibiarkan tanpa penanganan yang tepat, maka akan semakin meningkatkan kerugian. Oleh sebab itu untuk pengembangan muara sungai kedepannya dan tetap menjaga kesetabilan muara, maka perlu diperhatikan semua aspek yang berpengaruh di muara, baik dari laut terutama peisir pantainya dan juga di daerah DAS, terutama tutupan lahan di sekitar DAS bagian hulu. Semakin berkurang tutupan lahan di bagian hulu DAS maka saat hujan di hulu, akan meningkatkan transport sedimen dan debit air dari DAS yang masuk ke muara, sehingga akan mengakibatkan terjadinya banjir. Banjir akan semakin lama surut jika disaat bersamaan dari laut juga terjadi kondisi pasang.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh karakteristik Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dengan bilangan *formzhal* 0,509 di Muara Sungai Air Rami dan 0,491 di Muara Sungai Selagan Jaya. Perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu disebabkan oleh terjadinya sedimentasi di muara, yang sangat di pengaruhi oleh interaksi *power* dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus dari DAS, arus pasang surut, *longshore current*, dan sedimen. Hal ini akibat adanya pelemahan arus di mulut muara karena interaksi pertemuan arus pasang surut, arus sungai, dan *longshore current* sehingga transport sedimen yang diakibatkan *longshore current* tertahan dan menumpuk di bagian mulut muara. Saat pasang, arus masuk ke muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara masuk ke dalam muara, dan saat arus surut kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan terjadi pengendapan di bagian arus yang melemah di muara. Selain itu adanya influks sedimen dari DAS yang masuk ke muara juga berkontribusi terhadap sedimentasi yang terjadi di muara. Untuk pengembangan muara sungai kedepannya dan tetap menjaga kestabilan muara, perlu diperhatikan tidak hanya kondisi dinamika oseanografi dari pantai tapi juga dari DAS terutama tutupan lahan sekitar hulu DAS.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Bengkulu, melalui pendanaan Hibah Fundamental LPPM UNIB tahun 2023 sesuai nomor kontrak: 2088/UN30.15/PP/2022. Kami juga mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini.

## KONTRIBUSI

Supiyati, Suwarsono, dan Septi Johan merencanakan tema penelitian, mengumpulkan dan mengolah data, menyusun draf awal, dan membuat peta. April membantu dalam pengukuran dan pengolahan data lapangan. Elmi membantu mengumpulkan dan mengolah data sekunder. Supiyati sebagai korespondensi adalah koordinator penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bayhaqi, A., Iskandar, M.R., & Surinati, D. 2017. Pola Arus Permukaan dan Kondisi Fisika Perairan di Sekitar Pulau Selayar pada Musim Peralihan 1 dan Musim Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2(1), 83-95
- Bernawis, L. 2000. Temperature and Pressure Responses on El-Nino(1977) and La-Nina(1998) in Lombok Strait. Proc. *The JSPS-DGHE international symposium on Fisheries Science in Tropical Area*
- Driyogo, Y.W., Satriadi, A. and Hariadi (2013) 'Influks Sedimen dan Laju Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Banger, Pekalongan Jawa Tengah', *Jurnal Oseanografi*, 2(3), pp. 293–298.
- Handoyo, G., & Suryoputro, A. D. 2015. Kondisi Arus Dan Gelombang Pada

Berbagai Kondisi Morfologi Pantai Di Perairan Pantai Kendal Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis* 18(1), 33–37.

<https://doi.org/10.14710/jkt.v18i1.511>

- Ichsari, Fauzi, L., Handoyo, G., Setiyono, H., Ismanto, A., Marwoto, J., Yusuf, M., & Rifai A. 2020. Studi Komparasi Hasil Pengolahan Pasang Surut Dengan 3 Metode (Admiralty, *Least Square* Dan *Fast Fourier Transform*) Di Pelabuhan Malahayati, Banda Aceh. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2),1–8. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7985>

- Indrastuti, & Chen. N. 2022. Analisis Karakteristik Pasang Surut Air Laut terhadap Elevasi pada Pelabuhan Perairan Tanjung Uncang. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(1), 20 - 27. <https://doi.org/10.30630/jirs.v19i1.763>

- Indrayanti, E., Sugianto, D., Purwanto, P., & Siagian, H. 2021. Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimunjawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2), 247–254. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i2.11049>

- Kisnarti, E.A. and Prasita, V.D. 2014. Perubahan Morfologi di Muara Sungai Kali Porong, Sidoarjo. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI*. (November 2014), pp. 381–387.

- Kristanto, O., Ismanto, A., Satriadi, A., Setiyono, H., & Atmodjo, W. 2022. Analisis Longshore Current dan Pengaruhnya Terhadap Transpor Sedimen Dasar di Perairan Teluk Awur, Jawa Tengah. *Indonesia Journal of Oceanography*. 4(1), pp. 59–68

- Kurniawan, R., Sutikno, S., & Sujatmoko, B. 2017. Analisis Perubahan Morfologi

- Sungai Rokan Berbasis Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh. *Jurnal Online Mahasiswa*. 4(1), 1–10.
- Pattiselanno, S.R.R. 2017. Mitigasi karakter muka air banjir dari morfometri DAS Wai Loning – Negeri Laha, berbasis Geographic Information System (GIS), *Jurnal Simetrik*, 7(2),1–7. <https://doi.org/10.31959/js.v7i2.48>.
- Pangestu, N.J., Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2020. Studi Batimetri dan Morfologi Muara Sungai Mempawah Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 3(2), 69-76. <https://doi.org/10.26418/lkuntan.v3i2.41150>
- Pradana, M. G. A. P., Prasakti, R., Worsito, S. B., & Fajaryati, N. 2016. Single Propeller Drone (Singrone): Inovasi Rancang Bangun Drone Single Propeller sebagai Wahana Pemetaan Lahan Berbasis UAV, *Jurnal Electronics, Informatics, and Vocational Education (ELINVO)*. 1(3)
- Pradipta, Y., Saputro, S. and Satriadi, A. 2013. Laju Sedimentasi di Muara Sungai Slamaran Pekalongan", *Jurnal Oseanografi*, 2(4), pp. 378–386.
- DOI: <https://doi.org/10.21831/ELINVO.V1I3.12822>.
- Putra, D. R., & M. A. Marfai. 2012. Identifikasi Dampak Banjir Genangan (Rob) Terhadap Lingkungan Permukiman Di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1 (1), 1–10.
- Puteri, M.F.D., Putra, Y.S., & Adriat, R. 2020. Penentuan Debit Aliran di Muara Sungai Pawan Kabupaten Ketapang Berdasarkan Parameter Kecepatan Arus dan Kedalaman Sungai. *Prisma Fisika*, 7(3), 326-330. <https://doi.org/10.26418/pf.v7i3.38939>.
- Purba, V.D., Lizalidiawati and Sugianto, N. (2021) "Pemetaan Sebaran Indeks Pencemaran Air di Perairan Muara Sungai Jenggalu Kota Bengkulu", *Newton Maxwell Journal of Physics*, pp. 60–71.
- Ramdhan, M. 2011. *Komparasi Hasil Pengamatan Pasang Surut di Perairan Pulau Pramuka dan Kabupaten Pati Dengan Prediksi Pasang Surut Tide Model Drive*. Jurnal Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Pesisir dan Laut. Jakarta. Volume 7 nomor 11 ISSN: 2337-6732 (tidak ada pada sitasi)
- Rosyadewi, R., & Hidayah, Z. 2020. Perbandingan Laju Sedimentasi Dan Karakteristik Sedimen Di Muara Socah Bangkalan Dan Porong Sidoarjo. *Juvenil:Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(1), pp. 75–86. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i1.6832>
- Saputra, D.W., Muliadi, Risiko, Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2022. Analisis Laju Sedimentasi di Kawasan Perairan Muara Sungai Sambas Kalimantan Barat, *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 5(1), 31–38.
- Sauda, R, A. Nugraha, & Hani'ah, H. 2019. Kajian Pemetaan Kerentanan banjir Rob Di Kabupaten Pekalongan. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 466-474. DOI: <https://doi.org/10.14710/igundip.2019.22777> .
- Schureman, P. 1958. *Manual Of Harmonic Analysis And Prediction Of Tides*. U.S, Department Of Commerce Coast And Geodetic Survey Special Publ. 98. U.S. Government Printing Office, 317 pp.
- Setiawan, F., Prasita, D, V., & Widagdo, S. 2019. Pergerakan Arus Permukaan Laut

- Selat Bali Berdasarkan Parameter Angin Dan Cuaca. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research (J-Tropimar))*, 1(2), 63-76.
- Setiyono, H., Helmi, M., Prasetyawan, I. B., Yusuf, M. & Rifai, A. 2020. Perubahan Morfologi Muara Sungai di Pesisir Kota Semarang Dalam Penanggulangan Banjir dan Rob', *Indonesian Journal of Oceanography*. 2(2), 113–120. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7984.20>
- Suhana, M. P. 2015, Kajian Hidro-Oseanografi Untuk Deteksi Proses-proses Dinamika Pantai (Abrasi dan Sedimentasi), Tesis *Pasca sarjana Ilmu Kelautan*, Insititut Pertanian Bogor. Bogor.
- Supiyati, Suwarsono & Asteriqah, M. 2015. Analisis Transport Sedimen di Muara Sungai Serut Kota Bengkulu. *Prosiding Bidang Fisika. Semirata Bidang MIPA BKS-PTN Barat*. 354–362
- Supiyati & Ekawita R., 2019. Analisis Arus dan Energi Gelombang berbasis Sensor Ultrasonik di Perairan Pantai Tapak Paderi. *Prosiding Bidang Fisika. Semirata Bidang MIPA BKS-PTN Barat*. 597-608
- Supiyati, Suwarsono, & Setiawan 1., 2021, *Numerical Model of Coastline Changing Caused by Ocean Waves on Every Beach Segment in Coastal Area of North Bengkulu, Indonesia*. IP Conference Proceedings. 2320(1),10.1063/5.0037641 (2021).
- supiyati, Suwarsono, Abdullah, M.I, & Setiawan I. 2022. Beach Morphology Changes Due to Sediment Transport Generated by Wave and Current in The Sea Waters of Bengkulu City, Indonesia. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 27(3), 240-252.
- Supriyadi, E., Siswanto, Widodo S., & Pranowo. 2018. Karakteristik Pasang Surut Di Perairan Pameungpeuk, Belitung, Dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 19(1), 29 – 38.
- Suwarsono, Supiyati, & Suwardi. 2009. Zonasi karakteristik Kecepatan Abrasi dan rancangan Teknik Penangan Jalan Lintas Barat Bengkulu bagian Utara Sebagai Jalur Transportasi Vital. *Jurnal Makara Seri Teknologi*. Vol. 15, April, 31-38. <https://dx.doi.org/10.7454/mst.v15i1.854>.
- Tarigan, L.A. 2022. Analisis Karakteristik Bentuk Aliran Sungai Tuntungan Desa Sei Beras Sekata, Kecamatan Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 5(1), 84–89.
- Triatmodjo, B. 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2016. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset. 95 p.
- Vironita, F., Rispiningtati, R., & Marsudi S. 2012. Analisis Stabilitas Penyumbatan Muara Sungai Akibat Fenomena Gelombang, Pasang Surut, Aliran Sungai dan Pola Pergerakan Sedimen pada Muara Sungai Bang, Kabupaten Malang. *Jurnal Teknik Pengairan*. 1(2), 1–13.
- Wiguna, E., Wibowo, M. Rachman, R.A. Aziz, H. & Nugroho, S. 2020. Kondisi Hidrooseanografi Muara Sungai Jelitik, Sungailiat, Bangka Provinsi Bangka Belitung, *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1), 9–18. DOI: <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i1.23363>

## ANALISIS POTENSI KEKERINGAN METEOROLOGIS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CILIWUNG

### *(Analysis Of Meteorological Drought Potential in The Ciliwung River Basin)*

Dyah Rizky Alyudin<sup>1,2,\*</sup>, Amanah Anggun Prambandari<sup>3,4</sup>, Nur Azizah<sup>5</sup>, Kurnia Anggraini<sup>6</sup>, Tito Latif Indra<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, dyah.rizky@ui.ac.id

<sup>2</sup>Departemen Meteorologi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, dyahrizky.aljudin@bmg.go.id

<sup>3</sup>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, amanah.anggun@ui.ac.id

<sup>4</sup>Badan Informasi Geospasial, dyah.rizky@ui.ac.id

<sup>5</sup>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, nur.azizzahzizi88@gmail.com

<sup>6</sup>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, kurnia.anggraini@ui.ac.id

<sup>7</sup>Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, tito.latifi@sci.ui.ac.id

\*Email: dyah.rizky@ui.ac.id

Diterima: 24 Maret 2024, Direvisi : 7 Mei 2024, Disetujui : 8 Oktober 2024

### **ABSTRACT**

*The Ciliwung River and the Ciliwung River Basin play an important role in the availability of water in the river basin and its surrounding areas. However, the sustainability of water availability in the Ciliwung River Basin requires attention to threats such as drought. Research on the potential for drought is one step in anticipating water availability in the Ciliwung River Basin and its surrounding areas. Meteorological drought is a form of drought that can be detected through simple steps using rainfall data as the main data. With rainfall data, drought potential analysis can be carried out using 3-monthly SPI calculations, and statistical analysis of rainfall and its relationship to meteorological phenomena closely related to drought such as ENSO. Statistical analysis and SPI show that almost all observation points have indications of drought, namely Cibereum Bogor, Citeko, Gadog, Pinangsia, Ancol Pump, North Sunter Reservoir, Cempaka Baru, Bukit Duri, Manggarai and Kemayoran. In Katulampa, there are different analysis results, with statistical analysis showing a decreasing trend in rainfall while the SPI results show normal values. This shows that overall statistical analysis and SPI can support each other. Almost all areas of the Ciliwung River Basin show SPI values in the normal to dry category for October 2023 and increasingly dry in several points from November to December 2023, which are in Citeko, Depok, Cibereum, Gadog,*

*Manggarai, and Kemayoran. However, SPI and statistical analysis have weaknesses, namely its dependence on the amount of rainfall observation data available. Nevertheless, these two analyses can provide a fairly good overview of the potential for drought and rainfall trends in the Ciliwung River Basin.*

**Keywords: drought, river basin, SPI, rainfall, ENSO**

## ABSTRAK

Sungai Ciliwung dan Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung memiliki peran penting dalam ketersediaan air di wilayah DAS dan wilayah sekitarnya. Tetapi, keberlanjutan ketersediaan air DAS Ciliwung membutuhkan perhatian dengan adanya ancaman seperti kekeringan. Penelitian mengenai potensi kekeringan adalah salah satu langkah dalam mengantisipasi keberlanjutan ketersediaan air di DAS Ciliwung sekaligus wilayah sekitarnya. Kekeringan secara meteorologis adalah bentuk kekeringan yang mampu dideteksi melalui langkah yang sederhana dengan data curah hujan sebagai data utama. Dengan data curah hujan, analisis potensi kekeringan dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan SPI 3 bulanan, analisis statistik curah hujan dan keterkaitannya dengan fenomena meteorologis yang erat hubungannya dengan kekeringan seperti ENSO. Analisis statistik dan SPI menunjukkan bahwa hampir di semua titik pengamatan memiliki indikasi kekeringan yaitu Cibereum Bogor, Citeko, Gadog, Pinangisia, Pompa Ancol, Waduk Sunter Utara, Cempaka Baru, Bukit Duri, Manggarai dan Kemayoran. Sementara pada Katulampa, terdapat hasil analisis yang berbeda dimana analisis statistik menunjukkan tren penurunan curah hujan sedangkan hasil SPI menunjukkan nilai normal. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan analisis statistik dan SPI dapat saling mendukung satu sama lain. Hampir di seluruh wilayah DAS Ciliwung menunjukkan nilai SPI pada kategori normal hingga kering untuk bulan Oktober 2023 dan bulan November hingga Desember 2023 semakin mengering di beberapa titik Citeko, Depok, Cibereum, Gadog, Manggarai dan Kemayoran. Akan tetapi, SPI dan analisis statistik memiliki kelemahan yaitu adanya ketergantungan pada jumlah data pengamatan curah hujan yang tersedia. Walaupun begitu, kedua analisis ini dapat memberikan gambaran umum pada potensi kekeringan dan tren curah hujan di DAS Ciliwung dengan cukup baik.

**Kata kunci: kekeringan; DAS; SPI; curah hujan; ENSO**

## I. PENDAHULUAN

Perubahan lingkungan dan peningkatan aktivitas manusia di wilayah dekat sungai mampu meningkatkan potensi perubahan iklim sehingga berdampak secara signifikan terhadap peningkatan potensi

kekeringan dan penurunan ketersediaan air di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung (Achmad, Rustiati, & Sutapa, 2023; Padrón *et al.*, 2020; Widayanto & Kurniyaningrum, 2023). Penyebab utama kekeringan di Indonesia, khususnya Jawa, Bali dan Nusa Tenggara adalah adanya penurunan curah

hujan (Adhyani, June, & Sopaheluwakan, 2017). Penurunan curah hujan terlihat dalam beberapa dekade terakhir, yaitu di wilayah Jawa bagian barat (Adhyani *et al.*, 2017) dan ketersediaan air di DAS Ciliwung (Sebastian, 2023). Fenomena ini dapat berpotensi menyebabkan masalah kekeringan secara meteorologis yang signifikan di masa depan yang mampu berdampak pada krisis air (Mulyanti, Istadi, & Gernowo, 2023; Susanti *et al.*, 2021) dan ketahanan pangan (Pratiwi, Ramadhani, Nurrochmad, & Legono, 2020; Siswanto *et al.*, 2022). Masalah kekeringan meteorologi banyak terjadi di DAS lainnya di Indonesia seperti DAS Lekso di Blitar (Novita, Harisuseno, & Suhartanto, 2021), DAS Bedadung di Jember (Malini, 2020), dan DAS Kadalpang di Pasuruan (Dewita, Harisuseno, & Suhartanto, 2022). Masalah kekeringan di DAS dapat menjadi pertanda bagi kekeringan atau penurunan ketersediaan air yang lebih luas di wilayah lain di sekitarnya (Maryono, 2020) sehingga penting untuk dilakukan penelitian mengenai potensi kekeringan di DAS Ciliwung.

Sungai Ciliwung adalah salah satu sungai utama yang memengaruhi Jakarta, ibu kota Indonesia (Islami, Romli, & Arina, 2022). Sungai ini bukan hanya merupakan sumber air, tetapi juga memiliki implikasi sosial, ekonomi, dan lingkungan (Pramanti & Assel, 2022; Zidane, 2020) yang sangat signifikan bagi wilayah sekitarnya. Namun, dalam beberapa tahun terakhir hingga prediksi kedepan, wilayah sekitar Sungai Ciliwung memiliki potensi yang cukup besar untuk dapat mengalami masalah kekeringan yang memengaruhi keberlanjutan air bagi masyarakat dan

ekosistem di wilayah sekitar khususnya DAS Ciliwung (Lestari & Dasanto, 2019). Selain itu, adanya aktivitas manusia seperti pembangunan permukiman, pertanian, dan industri di sekitar daerah aliran sungai juga menjadi faktor yang berkontribusi pada penurunan ketersediaan air (Noperissa & Wasposito, 2018; Nuraida, Rachman, & Baskoro, 2016; Susanto, Purwanto, Pramudya, & Riani, 2019). Dampak dari penurunan ketersediaan air ini tidak hanya memengaruhi kebutuhan masyarakat akan air bersih, tetapi juga menyebabkan dampak pada ekosistem Sungai Ciliwung (Sara, Astono, & Hendrawan, 2018; Sirait, Rahmatia, & Pattullo, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis terhadap potensi kekeringan yang terjadi di Daerah Aliran Sungai Ciliwung. Dengan memadukan data cuaca dengan pola hujan, penelitian ini mengidentifikasi potensi kekeringan secara meteorologis DAS Ciliwung melalui aspek meteorologi seperti *Southern Oscillation Index (SOI)*, *El Niño-Southern Oscillation (ENSO)* dan *Standardized Precipitation Index (SPI)* dengan menggunakan metode statistik yang mampu memperlihatkan tren penurunan curah hujan (Ikhwal, Rau, Benazir, Pawattana, & Yahya, 2023; Susanti *et al.*, 2021). Selain penggunaan indeks SPI-3 (Helmi, Basri, Sufardi, & Helmi, 2018; Krisnayanti, Pasa, & Cornelis, 2023), SOI dan ENSO (Ryadi, Sukmono, & Sasmito, 2019), penggunaan metode statistik seperti *time series*, *monthly median values*, *Residual Mass Curves 5 year moving average*, *percentage correct* dan *correlation coefficient* mampu melakukan

analisis pada potensi kekeringan atau berkurangnya pasokan air yang ditampung di berbagai wilayah termasuk DAS (Cahyono & Nurjani, 2018). Analisis mengenai keterkaitan dan hubungan antara indeks dengan potensi kekeringan melalui grafik statistik diperlukan demi mendapatkan gambaran mengenai indeks tersebut agar dapat digunakan di wilayah penelitian yang sedang dilakukan. Namun begitu, perlu juga adanya pertimbangan mengenai ketergantungan analisis ini dengan ketersediaan data curah hujan (Cahyono & Nurjani, 2018).

Pemahaman mengenai potensi kekeringan di DAS Ciliwung sangat penting dalam menyusun strategi pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi gambaran umum kondisi kekeringan berdasarkan meteorologi di DAS Ciliwung sekaligus juga menjadi dasar dalam perencanaan kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi risiko kekeringan, menjaga keberlanjutan ekosistem sungai, serta memastikan ketersediaan air yang mencukupi bagi masyarakat di masa depan.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

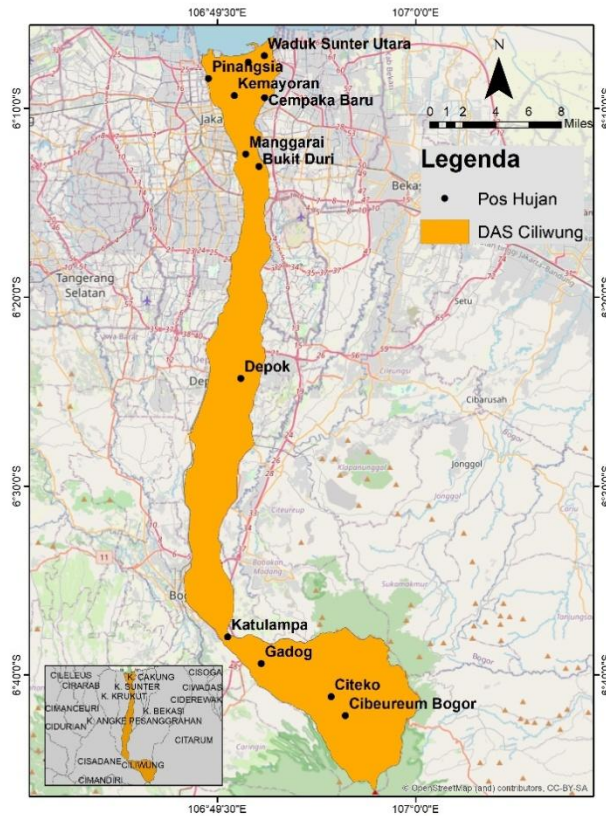
Penelitian ini dilakukan di DAS Ciliwung yang berada pada 6°12' - 6°46' LS dan 106°47' - 107°0' BT yang terdiri dari wilayah administratif Jakarta Utara, Jakarta Timur, Jakarta Barat, Jakarta Selatan, Jakarta Pusat, Kota Depok, Kota Bogor, dan Kabupaten Bogor, dengan 13 titik pos hujan BMKG yang tersebar tampak pada Gambar 1 dan Tabel 1. DAS Ciliwung mempunyai

curah hujan rata-rata antara 2.000 – 5.000 mm/tahun yang masuk kedalam iklim Koppen Af yaitu iklim hujan tropis lembab (Fitri, 2020; Lestari & Dasanto, 2019; PUPR, 2015). Secara umum, kondisi topografi DAS Ciliwung terdiri dari dataran rendah hingga tinggi dan memiliki variasi penggunaan lahan berupa permukiman, vegetasi, dan perkebunan dimana DAS Ciliwung hilir didominasi oleh permukiman, DAS Ciliwung tengah didominasi oleh perkebunan dan DAS Ciliwung hulu didominasi oleh vegetasi (Febrianti, Sofan, & Prasasti, 2015). Hal ini mengindikasikan adanya perbedaan pada ketersediaan air di wilayah DAS Ciliwung.

### B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan data hujan yang digunakan dari pos hujan berdasarkan ketersediaan data dalam periode yang beragam 1-31 tahun (1992-2023) yang tertera pada Tabel 1. Keberagaman periode ketersediaan data ini dikarenakan beberapa pos hujan baru saja dioperasikan sehingga data yang tersedia hanya satu tahun dimana hal ini menjadi kekurangan dalam penelitian. Penelitian ini juga menggunakan aplikasi *Seasonal Climate Outlooks in Pacific Island Countries* (SCOPIC) buatan *Bureau of Meteorology* (BoM) (Cottrill, Charles, Shelton, Jones, & Kuleshov, 2013) yang digunakan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan bahasa pemrograman R dalam melakukan analisis statistik curah hujan, pembuatan SPI dan visualisasi potensi kekeringan DAS Ciliwung.

**PETA SEBARAN POS HUJAN DAS CILIWUNG**



Gambar (Figure) 1. Peta Lokasi Penelitian dan Sebaran Pos Hujan DAS Ciliwung (Map of Research Locations and Distribution of Rain Posts in the Ciliwung River Basin)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Tabel 1 (Table 1). Periode Data Curah Hujan dari Pos Hujan di DAS Ciliwung (Rainfall Data Period from Rain Posts in the Ciliwung River Basin)

Pos Curah Hujan (Rainfall Post)	Periode (Period)	Ukuran Periode (Period Size)
Pinangisia	Jan 2022 – Dec 2023	1 yr
Pompa Ancol	Jan 2022 – Dec 2023	1 yr
Waduk Sunter Utara	Jan 2022 – Dec 2023	1 yr
Cibereum Bogor	Jan 2012 – Dec 2023	11 yr
Citeko	Jan 1992 – Dec 2023	31 yr
Depok	Jan 1992 – Dec 2023	31 yr
Gadog	Jan 1992 – Dec 2023	31 yr
Katulampa	Jan 1992 – Dec 2023	31 yr
Kemayoran	Jan 1992 - Dec 2023	31 yr
Bukit Duri	Jan 2022 – Dec 2023	1 yr
Cempaka Baru	Jan 2022 – Dec 2023	1 yr
Manggarai	Jan 2005 – Dec 2023	18 yr

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

SCOPIC merupakan aplikasi yang digunakan untuk melakukan analisis statistik curah hujan, pembuatan SPI dan analisis SPI, sementara R digunakan untuk melakukan visualisasi potensi kekeringan DAS Ciliwung, Aplikasi pemrograman R dapat diperoleh secara gratis (*open source*) menggunakan R Studio. Data curah hujan yang digunakan berasal dari data curah hujan pos hujan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang tersebar di DAS Ciliwung. Sementara data peta DAS Ciliwung didapat dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data SOI dan ENSO yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data SOI dan ENSO yang dikeluarkan oleh *Bureau of Meteorology* (BoM) Australia untuk wilayah Indonesia dari tahun 1992 hingga 2006.

### C. Metode Penelitian

Alur Penelitian yang tampak pada Gambar 2 menunjukkan penelitian dilakukan dengan menggunakan analisis statistik dalam melihat hubungan antara SOI dengan curah hujan berupa analisis *time series* (Räsänen, Lindgren, Guillaume, Buckley, & Kummu, 2016), *monthly median values* (Hund, Grossmann, Steyn, Allen, & Johnson, 2021), *Residual Mass Curves 5 year moving average* (Avia, 2019), *percentage correct*, dan *correlation coefficient*. Analisis statistik digunakan untuk memperlihatkan adanya tren penurunan curah hujan DAS Ciliwung. Setelah melakukan analisis statistik, maka analisis berikutnya untuk melihat potensi kekeringan di DAS Ciliwung adalah dengan menggunakan

perhitungan SPI (Helmi *et al.*, 2018; Krisnayanti *et al.*, 2023). Pola sebaran SPI akhir tahun 2023 dilihat dengan memvisualisasikan hasil perhitungan SPI (Krisnayanti *et al.*, 2023) dengan menggunakan bahasa pemrograman R melalui interpolasi *spline*. Interpolasi *spline* memungkinkan untuk melakukan pemetaan pada wilayah yang tidak memiliki data perhitungan SPI dengan melakukan estimasi berdasarkan titik pos hujan yang telah memiliki nilai perhitungan SPI.

Analisis *time series* (Räsänen *et al.*, 2016) digunakan untuk melihat pola dari grafik tiap tahunnya. Ketika dibandingkan antara grafik *time series* curah hujan dengan SOI maka dapat terlihat rupa pola yang terbentuk pada masing-masing pos hujan di DAS Ciliwung. Sementara itu, analisis *monthly median values* (Hund *et al.*, 2021) melakukan hal yang sama dengan membandingkan grafik pola curah hujan tiap bulan dengan SOI tiap bulan untuk melihat hubungan tiap pos hujan di DAS Ciliwung agar dapat dikaitkan dengan fenomena El Nino maupun La Nina sehingga dapat diketahui keterkaitannya pada potensi kekeringan. Analisis *Residual Mass Curves 5 year moving average* (Avia, 2019) digunakan untuk melihat adanya variasi anomali dari data observasi curah hujan yang digunakan di DAS Ciliwung, lebih rendah dari rata-rata anomali atau tidak. Variasi anomali data observasi yang cenderung lebih rendah daripada rata-ratanya dapat dikaitkan dengan adanya indikasi kekeringan di wilayah tersebut. Analisis

ini juga mampu menunjukkan adanya tren kenaikan curah hujan atau penurunan curah hujan dimana tren penurunan mampu meningkatkan potensi kekeringan.

*Standardized Precipitation Index (SPI)* (Svoboda, Hayes, & Wood, 2012) adalah suatu indeks yang dapat dijadikan indikator potensi kekeringan berdasarkan data curah hujan di suatu wilayah dengan persamaan 1 dan diklasifikasikan menggunakan kategori SPI pada Tabel 2:

$$SPI = \frac{(X - \bar{X})}{\sigma} \quad (1)$$

Keterangan:

X = curah hujan observasi

$\bar{X}$  = rata-rata curah hujan historis untuk periode tertentu,

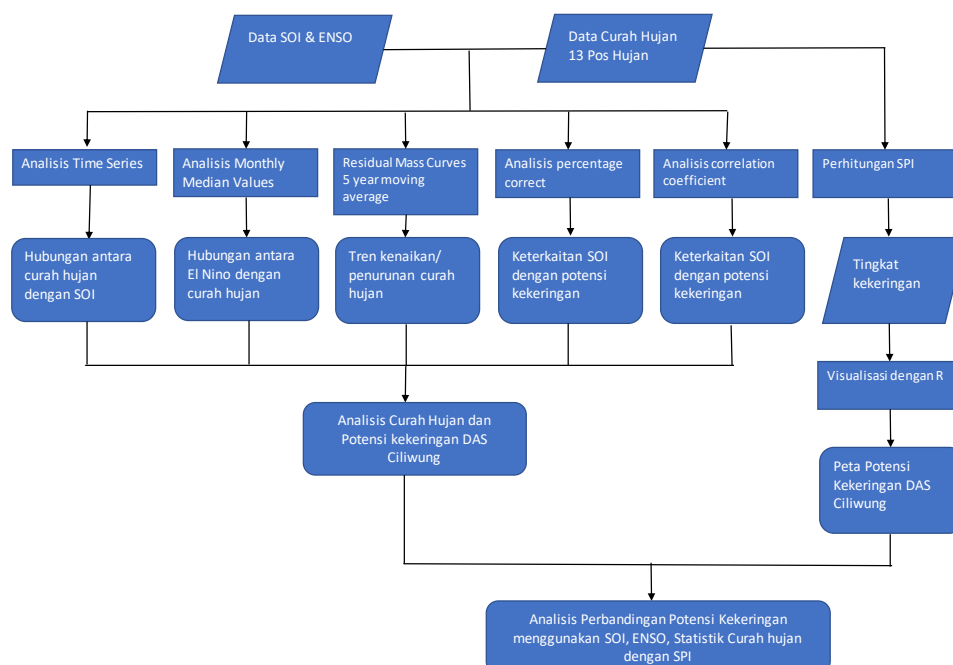
$\sigma$  = standar deviasi curah hujan historis untuk periode tertentu.

Nilai SPI kemudian dimasukkan kedalam kategori tingkat kekeringan, normal dan tingkat kebasahan seperti yang tampak pada Tabel 2.

Tabel 2 (Table 2). Kategori SPI (SPI Category)

Tingkat Kekeringan	Normal	Tingkat Kebasahan
Sangat Kering ( $\leq -2.00$ )	-0.99 s/d 0.99	Agak Basah (1.00 s/d 1.49)
Kering (-1.5 s/d -1.99)		Basah (1.50 s/d 1.99)
Agak Kering (-1.00 s/d -1.49)		Sangat Basah ( $\geq 2.00$ )

Sumber (Source): (Svoboda & Fuchs, 2017)



Gambar (Figure) 2. Alur Penelitian (Research Flow)

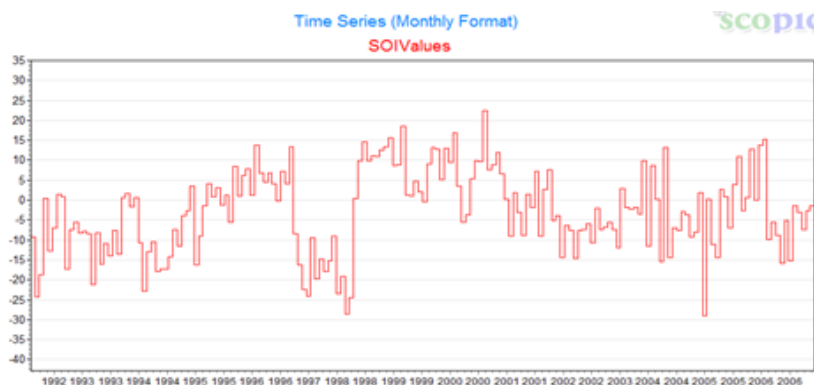
Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

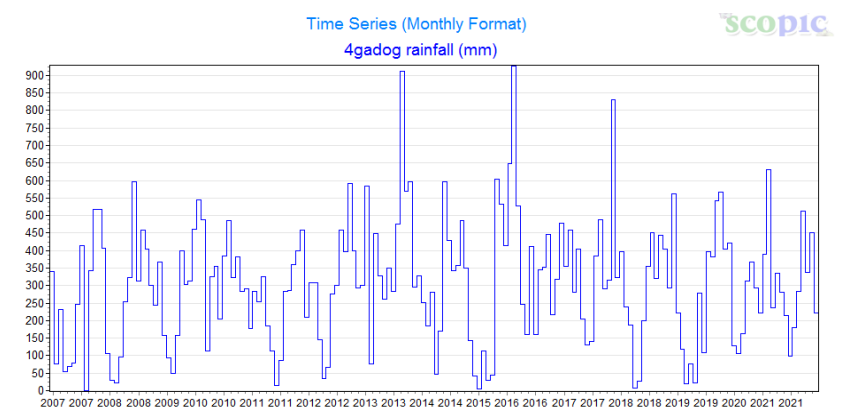
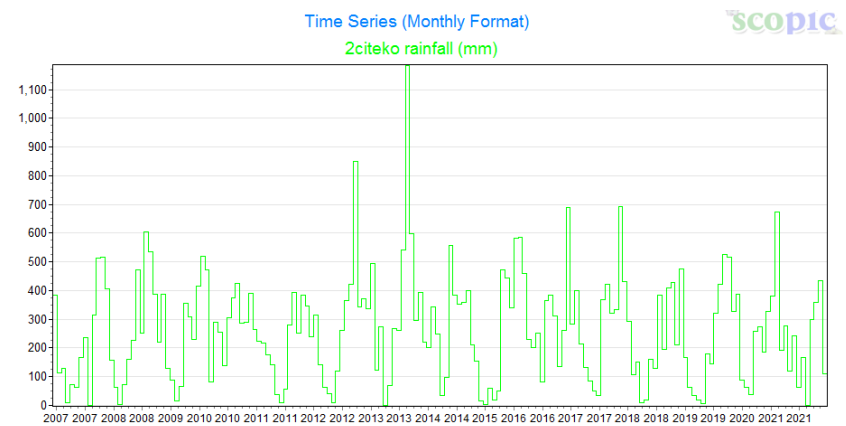
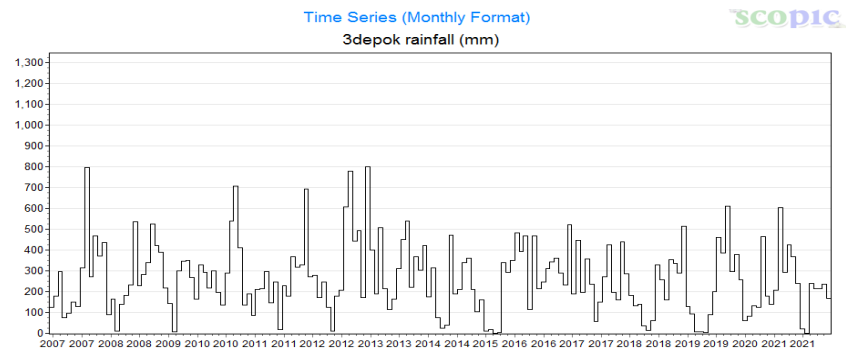
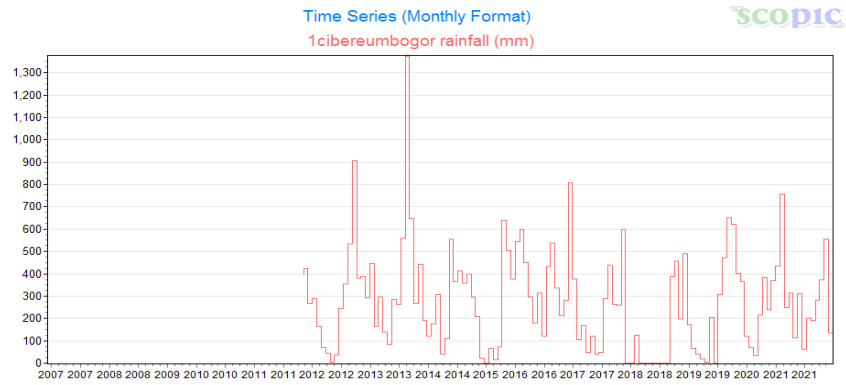
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

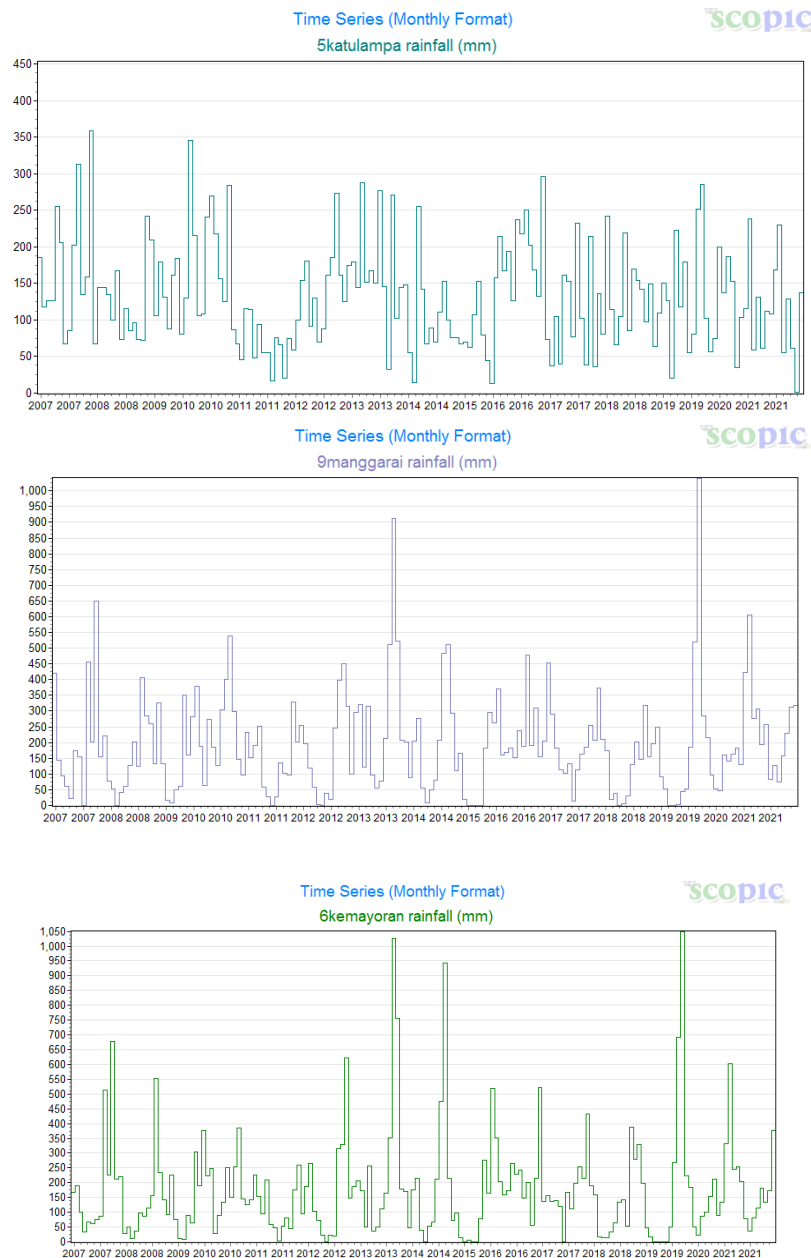
#### A. Hubungan Curah Hujan, SOI, ENSO dan Kekeringan

*Time series* curah hujan dapat menunjukkan fluktuasi intensitas curah hujan sehingga dapat dibandingkan dengan nilai SOI (Räsänen *et al.*, 2016). Hanya pada beberapa pos hujan saja dengan data yang lebih panjang yang dibuat *time series* sehingga pada Gambar 3 tampak 7 *time series* dari pos hujan di DAS Ciliwung yaitu pos hujan Cibereum Bogor, Depok, Gadog, Citeko, Katulampa, Manggarai, dan Kemayoran. Jika grafik *time series* pada Gambar 3 dari setiap pos hujan ini dibandingkan dengan grafik SOI (*Southern Oscillation Index*), maka terlihat adanya kesulitan dalam menentukan pola dari *time series* dan juga prediksi ke depan. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan pada data temporal yang dimiliki. Penelitian yang menggunakan analisis ini akan

lebih menggunakan data temporal yang sama agar mampu memperlihatkan pola yang lebih baik (Räsänen *et al.*, 2016). Untuk itu, *time series* belum dapat digunakan dengan baik untuk melihat hal tersebut berbeda dengan indikasi pengaruh El Nino dan La Nina. *Time series* curah hujan yang fluktuatif menunjukkan bahwa terdapat indikasi curah hujan di titik pengamatan terpengaruh oleh kejadian El Nino dan La Nina. Hal ini menguatkan hasil penelitian yang pernah dilakukan di beberapa negara di Asia Tenggara dimana fluktuasi dari *time series* curah hujan mampu menunjukkan keterkaitan dengan ENSO dan potensi kekeringan (Räsänen *et al.*, 2016). Namun, ketersediaan data titik menjadi salah satu hambatan, *time series* yang memperlihatkan kemiripan pola dengan lebih baik sulit dilakukan pada titik pengamatan yang memiliki data terbatas.







Gambar (Figure) 3. Time Series tujuh Pos Hujan DAS Ciliwung dan nilai SOI (*Time Series of seven Ciliwung River Basin Rain Posts and SOI values*)

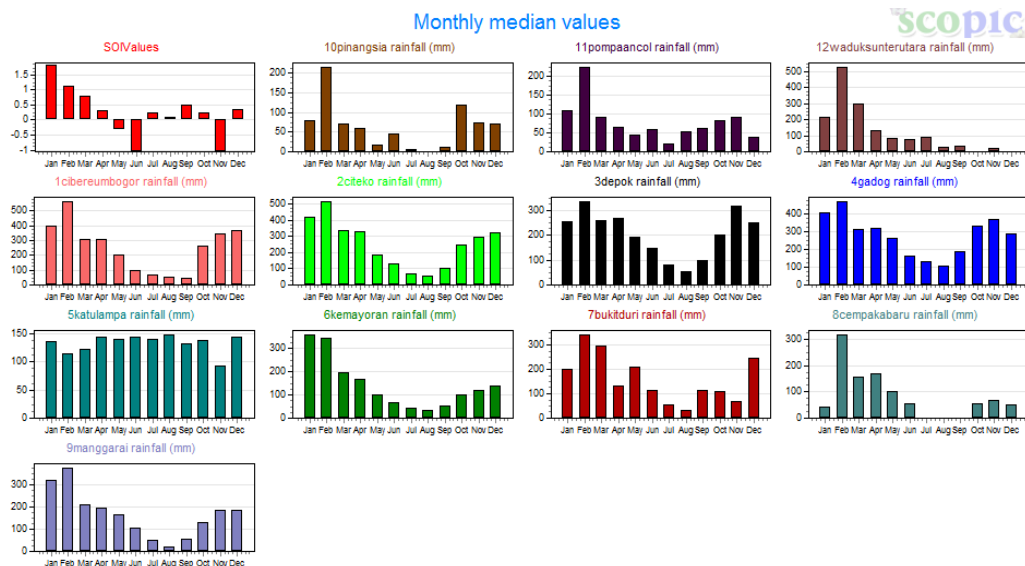
Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (*Data analysis 2024*)

Rata-rata nilai SOI yang tertera pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada bulan Desember - April, dan Juli - Oktober bernilai SOI positif yang mengindikasikan La Nina (banyak hujan), sementara Juni dan Desember nilai SOI negatif yang mengindikasikan adanya El Nino. Hampir di seluruh titik pengamatan dipengaruhi oleh El Nino terkecuali Katulampa, sementara La

Nina yang kuat tidak berpengaruh banyak pada titik Pinangsia, Pompa Ancol, Cempaka Baru, dan Waduk Sunter Utara. Wilayah yang dipengaruhi oleh El Nino memiliki potensi frekuensi hari hujan dan total curah hujan yang lebih sedikit dibandingkan dengan wilayah yang dipengaruhi oleh La Nina sehingga dapat menyebabkan pengurangan pada

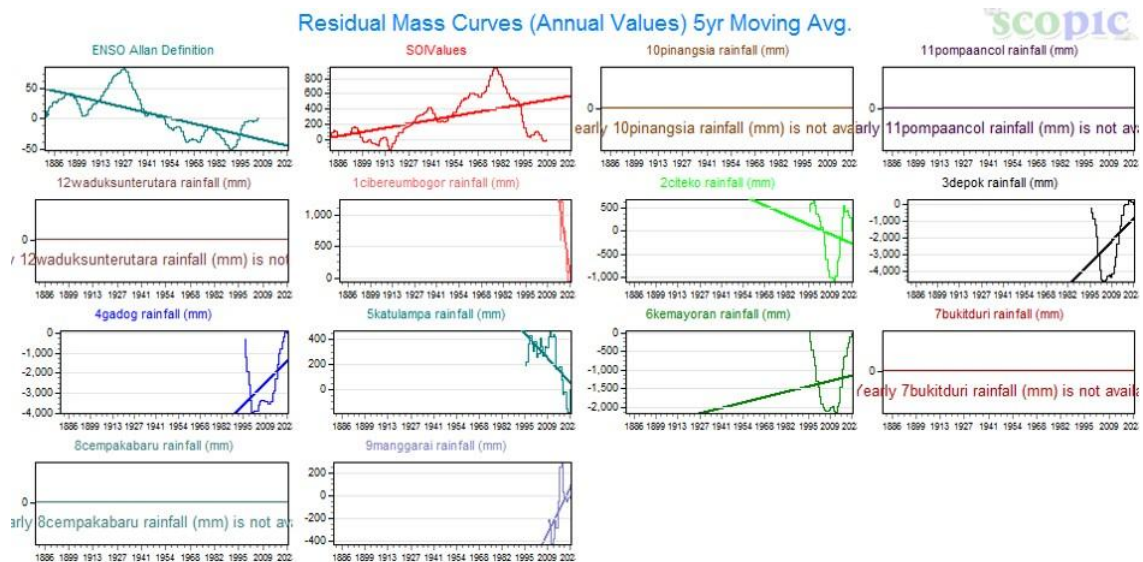
frekuensi pengisian ulang air tanah dan pengurangan aliran sungai hingga 60% yang dapat menyebabkan kekeringan (Hund *et al.*, 2021). Berdasarkan teori tersebut, maka dapat dikatakan bahwa hampir di seluruh wilayah DAS Ciliwung kecuali Katulampa memiliki potensi kekeringan di bulan Juni dan Desember. Pemantauan dan pengukuran akumulasi nilai anomali (perbedaan antara nilai observasi dan rata-rata) curah hujan selama beberapa tahun mampu mencerminkan akumulasi perbedaan antara curah hujan dengan rata-rata historis per waktu 5 tahun yang bergerak (Avia, 2019). Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat variasi anomali data observasi yang cenderung rendah jika dibandingkan dengan rata-ratanya, dapat diinterpretasikan

sebagai bentuk indikasi kekeringan. Hampir di semua titik pengamatan memiliki indikasi kekeringan di tahun-tahun awal pengamatan seperti Gadog, Depok, Kemayoran dan Manggarai, walaupun keempatnya memiliki tren kenaikan sementara Citeko dan Katulampa justru mengalami tren penurunan. Tren kenaikan dan penurunan pada anomali curah hujan dapat memberikan gambaran ke depan mengenai potensi bencana seperti banjir maupun kekeringan akibat dari anomali curah hujan (Avia, 2019), sehingga dapat dikatakan bahwa Citeko dan Katulampa memiliki potensi kekeringan di masa depan yang lebih besar dibandingkan di wilayah lainnya pada DAS Ciliwung.



Gambar (Figure) 4. Monthly Median Values Curah Hujan DAS Ciliwung (Monthly Median Values Rainfall Ciliwung River Basin)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

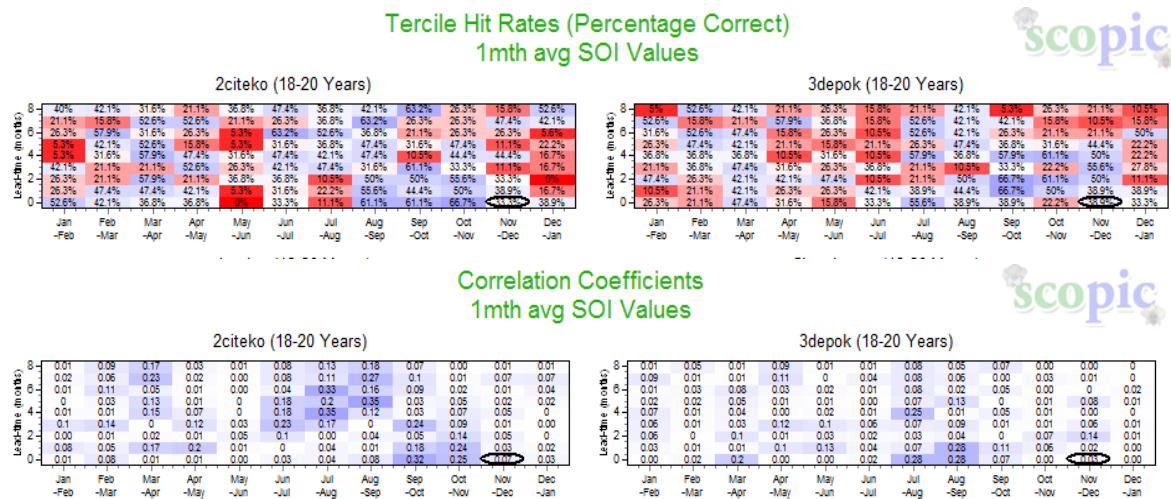


Gambar (Figure) 5. Residual Mass Curves (Annual Values) 5yr Moving Average DAS Ciliwung. (Residual Mass Curves (Annual Values) 5yr Moving Average Ciliwung River Basin.)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Dengan melihat *percentage correct* dan korelasi antara curah hujan dengan SOI, maka sebagian besar wilayah memiliki nilai korelasi yang cukup besar terkecuali wilayah Depok yang memiliki presentase *hit* dan korelasi yang paling rendah dibandingkan wilayah lainnya. Pada Gambar 6, Depok dan Citeko diambil sebagai perbandingan antara wilayah yang memiliki korelasi antara curah hujan dengan SOI. Dengan ditandai warna merah, terlihat bahwa Depok memiliki presentase yang lebih sedikit dibandingkan Citeko. Begitu juga dengan korelasi yang lebih tinggi ditandai dengan warna biru, Citeko memiliki korelasi yang lebih baik dibandingkan Depok. Maka dari itu, terdapat kemungkinan bahwa curah hujan di Depok tidak banyak dipengaruhi oleh El Nino dan La Nina sehingga SOI kurang dapat menjadi acuan dalam melihat potensi kekeringan di Depok. Pada wilayah lain di DAS Ciliwung dapat dikatakan bisa

menggunakan acuan SOI dalam melihat potensi kekeringan. Hal ini sejalan dengan teori yang mengatakan bahwa korelasi dan presentase yang lebih tinggi antara curah hujan dan SOI dapat menjadikan SOI sebagai salah satu indikator dalam melihat adanya penurunan curah hujan (Hidayat, Efendi, Agustina, & Winarso, 2018; Sureh, Taghi Sattari, Rostamzadeh, & Kahya, 2024) yang kemudian dikaitkan dengan potensi kekeringan (Ryadi *et al.*, 2019). Namun begitu, tidak menutup kemungkinan bahwa analisis potensi kekeringan yang dilakukan menggunakan SOI pada DAS Ciliwung tidak kuat mengingat korelasi tertinggi antara curah hujan pada titik pengamatan dan SOI hanya mencapai sekitar 0.35 yang menunjukkan korelasi lemah. Karena itu, diperlukan analisis lanjutan berupa analisis yang lebih dalam menggunakan indeks tertentu seperti SPI untuk melihat potensi kekeringan.



Gambar (Figure) 6. Percentage Correct and Correlation Coefficient Citeko yang rendah dan Depok (perwakilan wilayah DAS lain yang memiliki korelasi yang lebih besar). (Low Percentage Correct and Correlation Coefficient of Citeko and Depok (representative of other river basin areas which have a greater correlation).)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

## B. SPI (Standardized Precipitation Index)

Hasil perhitungan SPI seperti yang terlihat pada Gambar 7 dan Tabel 3 menunjukkan wilayah Pinangsia, Pompa Ancol, Waduk Sunter Utara, Cempaka Baru, Bukit Duri, Manggarai, dan Kemayoran, berada pada kisaran normal hingga kering, pada wilayah Depok berada pada kisaran agak kering hingga sangat kering, serta wilayah Cibereum Bogor, Citeko, dan Gadog berada pada kisaran normal hingga sangat kering. Wilayah Citeko dan Depok berada pada kondisi sangat kering sejak September 2023 dan membutuhkan 959 mm dan 852 mm curah hujan untuk kembali ke kondisi normal. Cibereum dan Gadog berada pada kondisi kering sejak Agustus dan September 2023 dan membutuhkan 1.075 mm dan 959 mm curah hujan untuk kembali ke kondisi normal. Sementara Manggarai dan Kemayoran

berada pada kondisi agak kering sejak September 2023 dan membutuhkan 693 mm dan 632 mm curah hujan untuk kembali pada kondisi normal.

Di bulan Oktober 2023, wilayah Cibereum Bogor, Citeko dan Gadog, dominan berada pada kategori normal (di sekitar Katulampa) hingga kering (Citeko), wilayah Depok berada pada kategori normal hingga kering (Depok), dan wilayah Pinangsia, Pompa Ancol, Waduk Sunter Utara, Cempaka Baru, Bukit Duri, Manggarai dan Kemayoran berada pada kategori normal hingga kering (Kemayoran). Pada bulan November 2023, semua wilayah di DAS Ciliwung memiliki nilai Indeks SPI 0 hingga negatif yang mengindikasikan kekeringan yaitu di wilayah Bogor dan Kota Bogor (Cibereum Bogor, Citeko dan Gadog) yang berada pada kategori kering, dan wilayah Depok berada pada kategori agak kering. Sementara di wilayah Jakarta (Pinangsia, Pompa

Ancol, Waduk Sunter Utara, Cempaka Baru, Bukit Duri, Manggarai, dan Kemayoran) berada pada mayoritas kisaran normal dengan wilayah Manggarai (Jakarta Timur) dan Kemayoran (Jakarta Pusat) masuk kategori kering. Sementara di bulan Desember 2023, semua wilayah di DAS Ciliwung memiliki nilai Indeks SPI 0 hingga negatif yang mengindikasikan kekeringan di wilayah yang sama seperti di bulan November, seperti Kemayoran yang tetap berada pada kategori kering. Dan di beberapa titik, justru semakin menggelap seperti yang terlihat pada Gambar 7 seperti Depok dan Citeko yang mengindikasikan semakin kering.

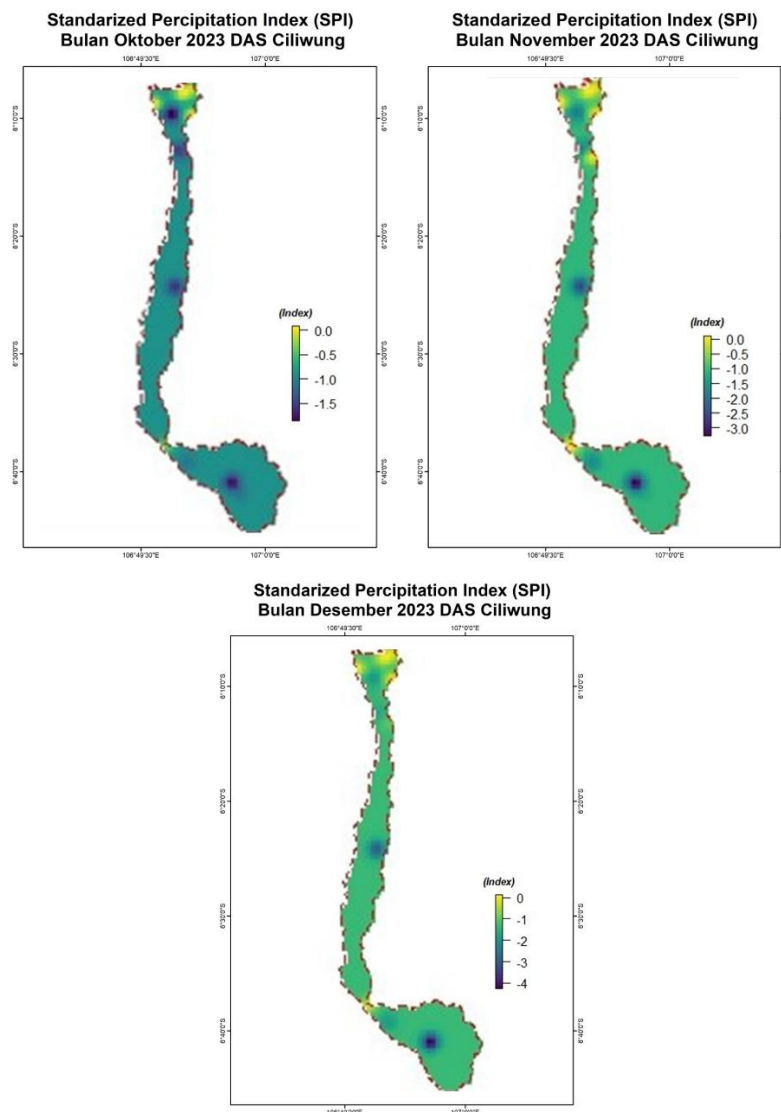
Berdasarkan analisis statistik sebelumnya, seperti *percentage correct*, terdapat beberapa titik di DAS Ciliwung yang perlu menjadi perhatian seperti Depok dan Citeko yang memiliki indikasi kekeringan baik secara statistik curah hujan, SOI dan ENSO maupun berdasarkan indeks SPI. Walaupun

secara statistik curah hujan, SOI dan ENSO menunjukkan bahwa Katulampa juga memiliki indikasi penurunan curah hujan, namun indeks SPI justru menunjukkan wilayah tersebut berada pada kondisi normal. Hal ini disebabkan Katulampa memiliki normal curah hujan yang memang rendah. Sementara Depok yang walaupun memiliki korelasi antara curah hujan dan SOI yang rendah, namun baik statistik curah hujan maupun SPI menunjukkan indikasi kekeringan. Di tempat lain seperti Citeko sebagai titik pengamatan yang memiliki indikasi kekeringan positif dari keseluruhan analisis perlu mendapatkan perhatian lebih. Hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, baik dalam penggunaan indeks kekeringan selain SPI, analisis data hidrologi dan survei lapangan dalam penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai kekeringan di DAS Ciliwung

Tabel 3 (Table). Hasil Perhitungan SPI (SPI Calculation Results)

	Pos Hujan (Rainfall Station)	Okt 2023	Nov 2023	Des 2023
Hilir DAS	Pinangsia	0	0	0
	Pompa Ancol	0	0	0
	Waduk Sunter Utara	0	0	0
	Cempaka Baru	0	0	0
	Bukit Duri	-1.1	0	-1
	Manggarai	-1.5	-1.6	-1.6
	Kemayoran	-1.9	-1.9	-1.9
Tengah DAS	Depok	-1.6	-2.6	-3.1
	Katulampa	-0.36	0.1	-0.29
Hulu DAS	Cibereum Bogor	-1.1	-1.3	-1.4
	Citeko	-1.8	-3.3	-4.3
	Gadog	-1.1	-1.7	-1.9

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)



Gambar (Figure) 7. Standarized Percipitation Index DAS Ciliwung Oktober, November dan Desember 2023. (Standarized Percipitation Index Ciliwung River Basin October, November and Desember 2023)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Analisis statistik dan analisis SPI menunjukkan bahwa pada hampir semua titik pos hujan menunjukkan adanya konsistensi terutama di wilayah Depok dan Citeko yang sama-sama memiliki indikasi kekeringan. Namun keterbatasan jumlah dan periode data perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih baik seperti halnya penelitian yang

dilakukan di Jawa Timur (Cahyono & Nurjani, 2018). Data yang tidak memiliki periode yang sama dan mencukupi seperti 30 tahun, mengalami kesulitan dalam analisis statistik curah hujan. Di samping itu, terdapat titik pos hujan yang lain yaitu Katulampa yang memiliki sedikit perbedaan hasil analisis dimana statistik menunjukkan adanya tren

penurunan curah hujan dan nilai SPI menunjukkan pada kondisi normal sehingga tidak ada indikasi kekeringan. Adanya perbedaan ini menunjukkan bahwa perlu adanya analisis lebih lanjut mengenai penelitian. Selain itu penelitian perlu mempertimbangkan adanya kesamaan pada periode curah hujan yang digunakan, penelitian juga perlu mempertimbangkan lokasi penelitian dan survei agar mendapatkan hasil yang akurat. Hal ini mengingat Katulampa adalah wilayah yang memiliki curah hujan normal yang lebih rendah dari sekitarnya sehingga analisis statistik akan mengatakan bahwa wilayah ini berada dalam kondisi menuju kering sedangkan perhitungan SPI menunjukkan hal normal. Hal seperti itu perlu mendapatkan survei lapangan untuk mendapatkan bukti adanya kekeringan di Katulampa. Dengan begitu, hasil analisis yang didapat mampu menunjang mitigasi pengelolaan DAS Ciliwung dengan lebih akurat. Selain untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan mendapatkan validasi dari perhitungan curah hujan dan potensi kekeringan, survei dan wawancara juga dapat menjadi media dalam edukasi masyarakat terhadap pemahaman kondisi tren curah hujan dan implikasinya pada krisis air dan sebagainya di masa depan sehingga masyarakat dapat ikut berperan aktif dalam mitigasi di lingkungan DAS dalam upaya pencegahan kekeringan melalui penanaman vegetasi dan sebagainya.

Walaupun terdapat perbedaan hasil analisis statistik dan analisis SPI, seperti

yang terjadi di Katulampa, namun hampir di seluruh wilayah menunjukkan adanya persamaan hasil. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang serupa dari analisis statistik curah hujan jika disandingkan dengan analisis SPI, SOI dan ENSO mampu ikut menggambarkan potensi kekeringan. Keseluruhan analisis dapat saling menguatkan satu sama lain sehingga analisis potensi kekeringan lebih beragam dan mendapatkan justifikasi yang lebih besar. Meski begitu, tak memungkiri adanya kenyataan bahwa masih ada kekurangan dalam penelitian dimana data penelitian curah hujan yang tidak seragam dan memiliki limitasi temporal, serta tidak hadirnya proses verifikasi dan validasi dalam penelitian mengingat terdapat wilayah yang memiliki anomali seperti Katulampa. Penelitian yang lebih mendalam dengan menambahkan unsur validasi sekiranya mampu menjelaskan anomali ini. Disamping itu, penggunaan keberagaman analisis baik statistik maupun SPI diharapkan mampu berkontribusi dalam proses perencanaan DAS Ciliwung seperti mitigasi potensi kekeringan. Dengan mempertimbangkan wilayah mana yang berpotensi kekeringan berdasarkan gabungan hasil analisis ini, diharapkan mampu menghadirkan kesadaran akan adanya potensi kekeringan di DAS Ciliwung pada lingkungan pemerintah terkait dan masyarakat yang berada di wilayah DAS.

#### IV. KESIMPULAN

Analisis statistik dan SPI menunjukkan bahwa hampir di semua titik pengamatan DAS Ciliwung memiliki indikasi kekeringan yaitu menunjukkan nilai SPI pada kategori normal hingga kering untuk bulan Oktober 2023 dan pada bulan November hingga Desember 2023 semakin mengering di beberapa titik utamanya Citeko, Depok, Cibereum, Gadog, Manggarai, dan Kemayoran. Sementara itu, wilayah Katulampa menunjukkan perbedaan hasil analisis dimana secara statistik, Katulampa berada pada tren penurunan curah hujan, sedangkan nilai SPI menunjukkan nilai normal. Indikasi yang menunjukkan adanya kekeringan di DAS Ciliwung dapat dijadikan rujukan pada pengelolaan DAS Ciliwung di masa depan. Akan tetapi, penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan data dan metode yang lebih baik. Nilai SPI dan sebaran potensi kekeringan dipengaruhi oleh banyaknya data pengamatan curah hujan. Jumlah pengamatan yang tidak memadai berpotensi untuk menormalkan indeks sehingga dirasa kurang representatif sedangkan pada dominan titik pengamatan yang memiliki data dengan interval memadai, menunjukkan indeks kering hingga sangat kering sehingga diperlukan data curah hujan dengan periode yang sama untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Selain itu, validasi melalui survei lapangan juga diperlukan dalam penelitian lanjutan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada program paska sarjana Departemen @2024 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan yang telah mendukung penelitian ini.

#### KONTRIBUSI PENULIS

Dyah Rizky Alyudin selaku penulis utama bertugas dalam melakukan pengumpulan data curah hujan, SOI, ENSO, dan sebagian besar analisis khususnya analisis statistik dengan dibantu oleh Nur Azizah dan Kurnia Anggraini. Amanah Anggun bertugas dalam melakukan visualisasi pemetaan baik pada peta dasar DAS dan pemetaan potensi kekeringan SPI. Sementara Dr. Tito Latif Indra selaku pembimbing yang melakukan evaluasi dan perbaikan atas penelitian yang dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R., Rustiati, N. B., & Sutapa, I. W. (2023). Climate changes affect to the Water availability in Sausu Watershed Catchment Area (Case Study). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1157(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1157/1/012055>
- Adhyani, N. L., June, T., & Sopaheluwakan, A. (2017). Exposure to Drought: Duration, Severity and Intensity (Java, Bali and Nusa Tenggara). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 26(2), 1–72. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/26/2/1>
- Avia, L. Q. (2019). Change in rainfall per-decades over Java Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 374(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012037>
- Cahyono, K. A., & Nurjani, E. (2018). *Kajian Kekeringan Meteorologis di*

- Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur.* Universitas Gajah Mada.
- Cottrill, A., Charles, A., Shelton, K., Jones, D., & Kuleshov, Y. (2013). *Seasonal Forecast Verification in the Pacific using a coupled model POAMA and the statistical model.* Melbourne.
- Dewita, M., Harisuseno, D., & Suhartanto, E. (2022). Analisis Kekeringan Meteorologi dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) dan China Z Index (CZI) Di Sub DAS Kadalpang, Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.01.01>
- Febrianti, N., Sofan, P., & Prasasti, I. (2015). *Aplikasi Penginderaan Jauh Untuk Menilai Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Surplus Air di DAS Ciliwung* (Vol. 033). LAPAN.
- Fitri, R. (2020). Karakteristik DAS Ciliwung Hulu Provinsi Jawa Barat. *Naturalis*, 1(2020), 169–175. Retrieved from <https://doi.org/10.31186/naturalis.9.1.12241>
- Helmi, Basri, H., Sufardi, & Helmi. (2018). Analisis Tingkat Keparahan Kekeringan Dan Upaya Mitigasi Bencana Hidrologis Di Sub Das Krueng Jreue Aceh Besar. *Seminar Nasional "Pelestarian Lingkungan & Mitigasi Bencana,"* 3(1), 10–27.
- Hidayat, A. M., Efendi, U., Agustina, L., & Winarso, P. A. (2018). Korelasi Indeks Nino 3.4 Dan Southern Oscillation Index (Soi) Dengan Variasi Curah Hujan Di Semarang. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), 75. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v19i2.3143>
- Hund, S. V., Grossmann, I., Steyn, D. G., Allen, D. M., & Johnson, M. S. (2021). Changing Water Resources Under El Niño, Climate Change, and Growing Water Demands in Seasonally Dry Tropical Watersheds. *Water Resources Research*, 57(11). <https://doi.org/10.1029/2020WR028535>
- Ikhwal, M. F., Rau, M. I., Benazir, Pawattana, C., & Yahya, H. (2023). Evaluation of Flood and Drought Events Using AR5 Climate Change Scenarios in Indonesia. *Journal of the Civil ...*, 9(1), 37–46. <https://doi.org/DOI.10.22146/jcef.4721>
- Islami, P. Y. N., Romli, R., & Arina, N. (2022). Study the Meaning Of Ciliwung River for Communities: Case Study Communities at Srengseng Sawah, South Jakarta. *ICHELSS: International Conference on Humanities, Education, Law, and Social Sciences*, 2(1), 841–850.
- Krisnayanti, D. S., Pasoa, M. S., & Cornelis, R. (2023). Analisis Kekeringan Meteorologi Dengan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index Di Kupang – Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Sumber Daya Air*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.32679/jsda.v19i1.793>
- Lestari, I., & Dasanto, B. D. (2019). Penentuan Indeks Ekstrem Hidrologi menggunakan Hasil Simulasi Model HBV (Studi Kasus: DAS Ciliwung Hulu). *Agromet*, 33(1), 20–29. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.33.1.20-29>
- Malini, C. (2020). Analisis Kekeringan Meteorologi Menggunakan Metode SPI (Standart Precipitation Index) di DAS Bedadung. Universitas Jember.
- Maryono, A. (2020). *Menangani Banjir, Kekeringan dan Lingkungan.* Yogyakarta: UGM Press.
- Mulyanti, H., Istadi, I., & Gernowo, R. (2023). Historical, Recent, and Future Threat of Drought on Agriculture in

- East Java, Indonesia: A Review. *E3S Web of Conferences*, 448. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344803016>
- Noperissa, V., & Waspodo, R. S. B. (2018). Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Air Domestik Menggunakan Metode Regresi di Kota Bogor. *J-SIL Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 03(03), 121–132.
- Novita, F., Harisuseno, D., & Suhartanto, E. (2021). Analisis Kekeringan Meteorologi dengan Menggunakan Metode Standardized Precipitation (SPI) dan Reconnaissance Drought Index (RDI) di DAS Lekso Kabupaten Blitar. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 672–685. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.28>
- Nuraida, Rachman, L. M., & Baskoro, D. P. T. (2016). Analisis Nilai Konservasi Tinggi Aspek Pengendali Erosi dan Sedimentasi (HCV 4.2) di DAS Ciliwung Hulu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 6(2), 151–158. <https://doi.org/10.19081/jpsl.6.2.151>
- Padrón, R. S., Gudmundsson, L., Decharme, B., Ducharne, A., Lawrence, D. M., Mao, J., ... Seneviratne, S. I. (2020). Observed changes in dry-season water availability attributed to human-induced climate change. *Nature Geoscience*, 13(7), 477–481. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0594-1>
- Pramanti, A., & Assel, C. H. (2022). Socio-Cultural Dynamics of Urban Communities on the Ciliwung River. *Buletin Inovasi Dan Pembangunan Sosial Prodi Sosiologi FISIP UNAS*, 3.
- Pratiwi, E. P. A., Ramadhani, E. L., Nurrochmad, F., & Legono, D. (2020). The Impacts of Flood and Drought on Food Security in Central Java. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(1), 69. <https://doi.org/10.22146/jcef.51872>
- PUPR. (2015). *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane*.
- Räsänen, T. A., Lindgren, V., Guillaume, J. H. A., Buckley, B. M., & Kumm, M. (2016). On the spatial and temporal variability of ENSO precipitation and drought teleconnection in mainland Southeast Asia. *Climate of the Past*, 12(9), 1889–1905. <https://doi.org/10.5194/cp-12-1889-2016>
- Ryadi, G. Y. I., Sukmono, A., & Sasmito, B. (2019). Pengaruh Fenomena El Nino Dan La Nina Pada Persebaran Curah Hujan Dan Tingkat Kekeringan Lahan Di Pulau Bali. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(4), 41–49. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/25143/22353>
- Sara, P. S., Astono, W., & Hendrawan, D. I. (2018). Kajian Kualitas Air di Sungai Ciliwung dengan Parameter BOD dan COD. *Seminar Nasional Cendekiawan*, 591–597. Universitas Trisakti. <https://doi.org/https://doi.org/10.25105/semnas.v0i0.3478>
- Sebastian, M. S. (2023). *Analisis Neraca Air Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung Dengan Metode FJ Mock dan Tank Model Untuk Memenuhi Kebutuhan Air*. Universitas Pertamina.
- Sirait, M., Rahmatia, F., & Pattulloh. (2018). Comparison of Diversity Index and Dominant Index of Phytoplankton at Ciliwung River Jakarta. *Jurnal Kelautan Universitas Trunojoyo Madura*, 11(1), 75–79.
- Siswanto, S., Wardani, K. K., Purbantoro, B., Rustanto, A., Zulkarnain, F., Anggraheni, E., ... Dimiyati, M. (2022). Satellite-based meteorological drought indicator to support food

- security in Java Island. *PLoS ONE*, 17(6 June), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260982>
- Sureh, F. S., Taghi Sattari, M., Rostamzadeh, H., & Kahya, E. (2024). Meteorological Drought Assessment and Prediction in Association with Combination of Atmospheric Circulations and Meteorological Parameters via Rule Based Models. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 30(1), 61 – 78. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1067486>
- Susanti, I., Sipayung, S. B., Siswanto, B., Maryadi, E., Latifah, H., Nurlatifah, A., ... Suhermat, M. (2021). Implications of extreme events on the water balance in Java. *AIP Conference Proceedings*, 2331(1), 30008. <https://doi.org/10.1063/5.0042006>
- Susanto, A., Purwanto, M. Y. J., Pramudya, B., & Riani, E. (2019). Ketercukupan Air Temporal Sebagai Indikator Ketersediaan Air Kawasan (Studi Kasus DAS Ciliwung Hulu). *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 1, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.36441/seoi.v1i1.604>
- Svoboda, M., & Fuchs, B. (2017). *Handbook of Drought Indicators and Indices*. <https://doi.org/10.1201/9781315265551-12>
- Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). Standardized Precipitation Index: User Guide. In *World Meteorological Organization* (Vol. 1090). Geneva: WMO. Retrieved from <https://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub>
- Widayanto, A. M., & Kurniyaningrum, E. (2023). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Hujan Rencana pada DAS Ciliwung, DKI Jakarta. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 4(1), 88–100.
- Zidane, I. (2020). Analisis Sempadan Sungai Ciliwung, Kelurahan Bukit Duri, Jakarta Selatan Sebagai Ruang Terbuka Hijau. In R. Adnin (Ed.), *KOCENIN Serial Konferensi No. 1 (2020) Webinar Nasional Cendekiawan Ke 6 Tahun 2020, Indonesia* (Vol. 1, pp. 1–7). Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

## POTENSI PENGEMBANGAN AGROFORESTRI BERBASIS KOPI DI HULU DAS CITARUM

### *(Potential for Development of Coffee-Based Agroforestry in Upper Citarum Watershed)*

Elfira Rosa Juningsih<sup>1</sup> dan Ary Widiyanto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Pusat Riset Kependudukan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. General Gatot Subroto No. 10, Jakarta, Indonesia 12710*

*\*Email: aryw002@brin.go.id*

Diterima: 21 Oktober 2024, Direvisi : 08 November 2024, Disetujui : 20 November 2024

### **ABSTRACT**

*Coffee cultivation has enormous potential in the southern part of Bandung Regency, which includes the upstream area of the Citarum River Basin (DAS). This study aims to determine the potential for coffee development through agroforestry patterns with pine trees and mixed forests such as rasamala (*Altingia excelsa*) and puspa (*Schima wallichii*). This study uses the Institutional Analysis and Development (IAD) method. Data collection was carried out using observation and interview methods. Respondents were the Forest Village Community Institution (LMDH), and key informants included LMDH Management, Perum Perhutani KPH South Bandung staff, extension workers, and coffee traders. Data were analyzed descriptively. The study results showed that farmer institutions had not been properly formed, market access was open but still limited, and government support needed to be increased in mentoring farmer groups. Other results showed that coffee development with an agroforestry pattern was better for the environment than other land uses such as monoculture farming. Although it contributes to farmers' income, coffee cultivation has not been able to become the main source of income for the majority of farmers. Mentoring, counseling, business capital and marketing assistance are needed to ensure that there is no conversion of forest land to other uses and to increase the added value of community coffee products.*

**Keywords:** *Coffee; Bandung Regency; agroforestry; forest farmers, Citarum Watershed*

### **ABSTRAK**

Budidaya tanaman kopi mempunyai potensi yang sangat besar di wilayah Kabupaten Bandung bagian selatan yang meliputi wilayah hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi pengembangan kopi melalui pola agroforestri dengan pohon pinus dan rimba campur seperti rasamala dan puspa. Penelitian ini menggunakan metode *Institutional Analysis and Development* (IAD). Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi dan wawancara. Responden adalah anggota Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH) dan informan kunci terdiri dari Pengurus LMDH, Staf Perum

Perhutani KPH Bandung Selatan, penyuluh, dan pedagang kopi. Data dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembagaan petani belum terbentuk dengan baik, akses pasar terbuka namun masih terbatas, dan dukungan pemerintah perlu ditingkatkan dalam pendampingan kelompok tani. Hasil lainnya menunjukkan bahwa pengembangan kopi dengan pola agroforestri baik bagi lingkungan dibandingkan penggunaan lahan lain seperti pertanian monokultur. Meskipun memberikan kontribusi terhadap pendapatan petani, budidaya kopi belum mampu menjadi sumber pendapatan utama bagi mayoritas petani. Pendampingan, penyuluhan, modal usaha dan bantuan pemasaran diperlukan untuk memastikan tidak adanya alih fungsi lahan hutan menjadi penggunaan lain dan meningkatnya nilai tambah produk kopi masyarakat.

**Kata kunci: Kopi; Kabupaten Bandung; agroforestri; petani hutan, DAS Citarum**

## I. PENDAHULUAN

Sebagai daerah yang terletak dekat dengan pusat pemerintahan Provinsi Jawa Barat, Kabupaten Bandung mempunyai posisi yang strategis dari segi perekonomian. Kegiatan perdagangan dan jasa merupakan hal penting bagi kabupaten ini. Saat ini sektor pariwisata khususnya *eco-tourism* menjadi salah satu sektor favorit baru. Selain itu, Bandung mempunyai potensi agribisnis yang baik, karena didukung oleh potensi sumber daya alam. Kabupaten ini memiliki berbagai tipe topografi yang didominasi oleh pegunungan. Bagi Bandung bagian selatan, wisata alam dan komoditas pertanian menjadi dua hal yang berkontribusi terhadap pembangunan perekonomian daerah. Kawasan Ciwidey yang terdiri dari tiga kecamatan yaitu Kecamatan Ciwidey, Kecamatan Pasirjambu, dan Kecamatan Rancabali merupakan salah satu pusat wisata di kawasan Bandung Selatan. Terdapat 14 objek wisata alam di kawasan Ciwidey (Azzahra & Sujali, 2013). Selain wisata, kawasan Ciwidey juga terkenal sebagai penghasil kopi berkualitas baik,

baik kopi original maupun kopi luwak (Supriatna & Aminah, 2016).

Berdasarkan batas Daerah Aliran Sungai (DAS), wilayah ini termasuk dalam sub-DAS Ciwidey, DAS Citarum bagian hulu. Sungai Citarum mempunyai peranan strategis bagi Provinsi Jawa Barat, khususnya bagi 13 kota dan kabupaten yang dilalui sungai tersebut. Citarum merupakan DAS terbesar di Jawa Barat yang dihuni oleh 25 juta jiwa (Kardhana et al., 2024). Secara keseluruhan DAS Citarum terbagi menjadi tiga zona: Citarum Hulu, Citarum Tengah, dan Citarum Hilir. Ketiga zona ini bermuara di Sungai Citarum yang panjangnya mencapai 300 kilometer, dimana sumbernya bermula dari Situ Chisanti di kaki Gunung Wayan, Kabupaten Bandung hingga bermuara di pantai utara Jawa, Muara Gembong, Kabupaten Bekasi. Satgas Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan DAS Citarum Provinsi Jawa Barat menyebutkan terdapat 16 anak sungai di sepanjang sungai tersebut, dengan total luas 682.227 hektare (Sunandar, 2024). Penggunaan lahan di Bandung bagian Selatan terdiri dari permukiman, kebun, hutan, dan lahan pertanian kering dan basah. Salah satu

pengelolaan kebun milik rakyat dan hutan yang dikelola oleh Perum Perhutani adalah melalui pola agroforestri.

Agroforestri merupakan sistem pertanian berkelanjutan yang memadukan kehutanan, pertanian, dan peternakan dalam satu lahan (Ma'ruf, 2017). Agroforestri menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan pertanian monokultur, salah satunya yaitu peningkatan kandungan hara tanah, khususnya karbon dan nitrogen (Handayani, 2022). Sistem agroforestri dapat merehabilitasi lahan terdegradasi, menjadikannya produktif sekaligus memulihkan sebagian kualitas lingkungan (Nurida et al., 2020). Sistem ini juga memberikan keuntungan ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan perkebunan monokultur. Misalnya, agroforestri berbasis gaharu-lada dapat menghasilkan Nilai Sekarang Bersih hingga 6,9 kali lebih tinggi dibandingkan monokultur kelapa sawit (Nurida et al., 2020). Agroforestri juga dapat berperan dalam mitigasi banjir dibandingkan sistem monokultur (Ma'ruf, 2017).

Agroforestri merupakan salah satu sistem budidaya yang dapat dikembangkan di kawasan Bandung Selatan. Kombinasi tanaman utama (kayu) dan tanaman semusim atau Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) menjadikan sistem agroforestri mampu memberikan pendapatan jangka pendek dan jangka panjang bagi petani (Achmad et al., 2022). Agroforestri juga lebih baik daripada pertanian monokultur di daerah aliran sungai. Agroforestri membantu mengelola air dengan meningkatkan aliran di bawah tanah dan mengurangi aliran permukaan serta

konsentrasi sedimen di sungai (Junaidi, 2013). Sistem agroforestri menghasilkan lebih banyak hasil daripada monokultur, dengan Rasio Ekuivalen Lahan (LER) yang lebih besar dari satu (Rachman & Hani, 2014).

Kopi merupakan salah satu tanaman yang memiliki ciri tidak memerlukan cahaya penuh untuk tumbuh (Anita et al., 2016), sehingga cocok untuk ditanam pada sistem agroforestri. Mayoritas petani kopi di kawasan ini menanam kopi di bawah tegakan pohon pinus dan rimba campur (mahoni, rasamala dan puspa) milik Perum Perhutani yang dikelola Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Bandung Selatan. Jumlah desa di sekitar KPH Bandung Selatan sebanyak 111 desa (Utami, 2015). Sistem agroforestri untuk budidaya kopi menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan monokultur. Sistem ini berkontribusi signifikan terhadap konservasi tanah, meningkatkan kelembapan tanah, kesuburan, dan mengurangi erosi (Campanha et al., 2007). Meskipun hasil panen kopi mungkin sedikit lebih rendah dalam sistem agroforestri, total hasil panen sistem jauh lebih tinggi, sehingga meningkatkan ketahanan pangan dan diversifikasi pendapatan (Niether et al., 2020). Sistem agroforestri kopi juga memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim dengan menyimpan lebih banyak karbon dan menyediakan pengaturan suhu yang lebih baik (Niether et al., 2020). Sistem ini berkontribusi terhadap konservasi keanekaragaman hayati dan dapat membantu mengendalikan hama dan penyakit tertentu (Niether et al., 2020). Secara ekonomi, sistem agroforestri berbasis kopi

telah terbukti menguntungkan, dengan penelitian yang menunjukkan kontribusi signifikan sebesar 66,6% terhadap pendapatan petani (Simamora, 2024). Sistem ini telah berhasil diterapkan di berbagai daerah di Indonesia, menawarkan potensi untuk pengembangan lebih lanjut di kawasan kehutanan masyarakat dan hutan desa (Supriadi & Pranowo, 2016).

Untuk menunjang potensi yang ada, diperlukan kerjasama yang baik antar pihak terkait. Selain itu, petani juga perlu mendapatkan dukungan terkait pemasaran produk dan pendampingan dari lembaga petani. Kelembagaan yang baik dapat meningkatkan posisi tawar petani dengan baik, serta dapat menjamin keberlangsungan usaha budidaya kopi (Ruhimat & Widiyanto, 2021). Keberlanjutan budidaya kopi sangat dipengaruhi oleh keuntungan masing-masing pihak yang terlibat. Saat ini Bandung bagian Selatan merupakan salah satu penghasil kopi terbesar di Jawa Barat. Kecamatan Ciwidey misalnya, memiliki luas areal kopi 9.037 hektar, dengan produktivitas produksi 835kg/ha (Ruwiwati et al., 2013) atau sekitar 933.520 ton pada tahun 2022 (BPS Kabupaten Bandung, 2023). Permasalahan yang dihadapi oleh petani kopi di area ini adalah masih banyaknya kegiatan pertanian monokultur, khususnya jenis sayuran. Selain itu kelembagaan petani, baik kelembagaan internal maupun eksternal juga masih lemah diindikasikan dengan KTH yang belum berhasil meningkatkan kapasitas anggotanya, meskipun sudah memiliki perangkat dan aturan yang memadai. Selain ini posisi tawar petani dan KTH juga masih lemah dalam penentuan harga

dengan pembeli atau tengkulak. Jika tidak dilakukan penanganan yang tepat maka dikhawatirkan konversi lahan untuk kegiatan pertanian monokultur akan semakin bertambah luas dan berdampak pada degradasi kawasan Bandung bagian Selatan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi biofisik kawasan Bandung Selatan yang merupakan bagian hulu DAS Citarum untuk pengembangan agroforestri berbasis kopi, mengetahui kelembagaan kelompok tani hutan yang membudidayakan kopi di bawah tanaman hutan melalui perhutanan sosial, dan memberikan rekomendasi pengembangan agroforestri berbasis kopi di wilayah Bandung bagian Selatan.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan di dua lembaga masyarakat desa hutan (LMDH) yaitu, LMDH Kanaan Hijau yang berlokasi di Desa Indragiri, Kecamatan Rancabali, dan LMDH Tenjolaya, Desa Tenjolaya, Kecamatan Pasirjambu, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat, Indonesia. Lokasi ini terletak di sub-DAS Ciwidey, DAS Citarum. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni-Juli 2022. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

### B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta dasar Provinsi Jawa Barat berbentuk shapefile (shp) dan transkrip hasil wawancara. Alat yang digunakan meliputi kuesioner, alat perekam, alat tulis, *smartphone*, program Microsoft Excel versi

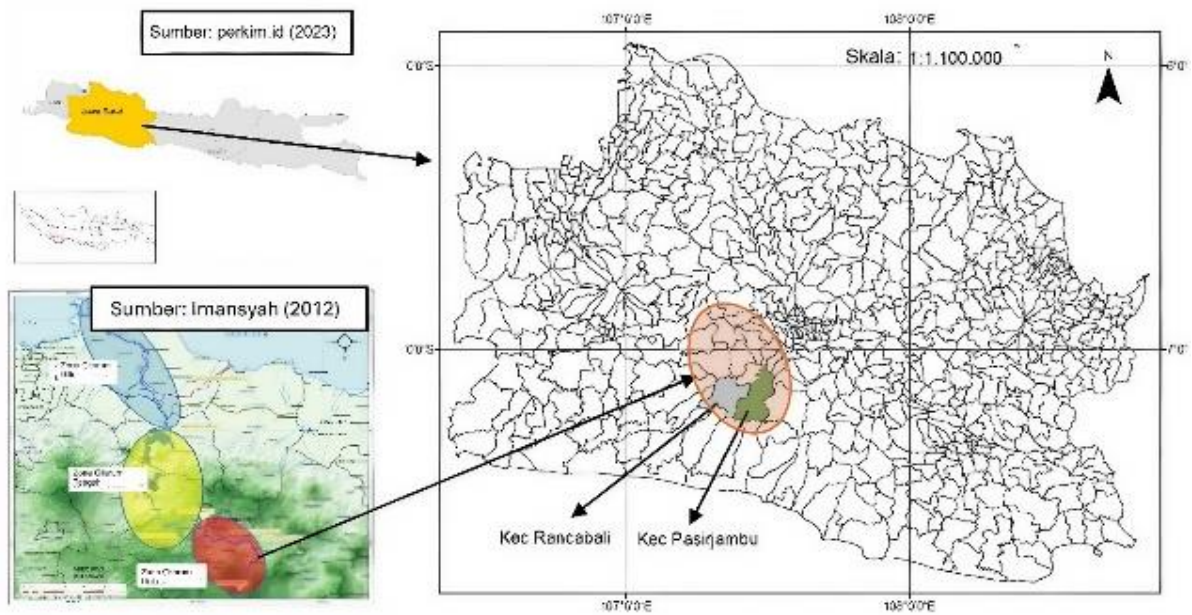
tahun 2010 untuk pengolahan dan tabulasi data, dan program ArcGIS versi 10.8 untuk pembuatan peta.

### C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Penelitian analisis kelembagaan agroforestri berbasis kopi pada program perhutanan sosial (PS) dilakukan dengan menggunakan kerangka *Institutional Analysis and Development (IAD)* Ostrom (2003). Analisis ini membahas faktor-faktor ekstrinsik (eksternal) yang memengaruhi perilaku sosial, antara lain biologi lokal, kondisi sosial, serta peraturan perundang-undangan yang digunakan. Ketiga faktor eksternal tersebut membentuk landasan kerja yang merupakan hasil interaksi antara kondisi kerja dan pelaku di lapangan, yang pada akhirnya menciptakan pola kerja masyarakat di kawasan hutan. Kerangka IAD adalah alat analisis untuk melakukan penelitian tentang interaksi manusia yang berulang dan berskala besar yang dipengaruhi oleh aturan dan regulasi. Aturan dan norma mengatur pilihan dan perilaku strategis masyarakat (Polski & Ostrom, 2015)

Kerangka analisis pengembangan kelembagaan IAD cocok untuk menganalisis berbagai jenis sumber daya yang dimiliki bersama, komunitas pengguna, sistem pengelolaan, berbagai hak milik yang memengaruhi dan penggunaan aturan yang berlaku di berbagai tingkatan (*multiple rule-in-use*) dan bukan sekadar mempelajari kondisi biofisik hutan (Gibson et al., 2000).

Data yang diambil dalam penelitian ini terdiri dari data kelembagaan meliputi sejarah kelompok tani, luas area garapan, jumlah produksi, keanggotaan, dan administrasi kelompok tani yang tergabung dalam LMDH. Selain itu, data kegiatan usaha budidaya kopi dan tanaman pertanian lainnya diperoleh dari responden. Jumlah responden untuk LMDH Kanaan Hijau adalah sebanyak 11 orang, dan LMDH Tenjolaya sebanyak 12 orang sehingga total responden adalah 23 orang. Pemilihan responden dilakukan secara acak, dan jumlah responden menyesuaikan dengan ketersediaan waktu dari responden. Selain itu juga dilakukan wawancara mendalam dengan informan kunci. Informan kunci dalam penelitian ini adalah ketua dan pengurus kedua LMDH tersebut, yang terdiri dari ketua, sekretaris dan bendahara, Staf Perum Perhutani KPH Bandung Selatan, penyuluh masing-masing kecamatan, dan pedagang kopi. Sehingga jumlah total informan kunci adalah 10 orang. Informan tersebut dipilih dengan pertimbangan pemahaman terhadap kondisi kelembagaan dan aktivitas dalam perhutanan sosial di kelompok masing-masing. Wawancara mendalam dan observasi lapangan digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai potensi biofisik dan agroforestri, sistem usaha tani, sistem pemasaran, dan tantangan dalam pengelolaan kelembagaan di kedua LMDH tersebut. Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan fenomena yang diidentifikasi selama penelitian.



Gambar (Figure) 1. Lokasi Penelitian (*The research site*)  
 Sumber (Source): Pengolahan data 2022 (*Data analysis, 2022*)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Penggunaan Lahan di Hulu DAS Citarum

Lahan terbangun merupakan penggunaan lahan yang paling mendominasi DAS Citarum Hulu yaitu seluas 39.777 ha (22.7%) pada tahun 2018. Perubahan lahan terbangun atas pembangunan permukiman, industri, jalan, dan fasilitasnya. Adapun luas hutan hanya sekitar 27.918 ha (15.9%), sawah 39.258 ha (22.4%), pertanian lahan kering 32.535 ha (18.6%), perkebunan 27.716 ha (15.8%) dan penggunaan lainnya (Fadhil et al., 2021). Penelitian Imansyah (2012) menunjukkan bahwa banyak daerah kawasan hutan dan non-hutan beralih menjadi kawasan pertanian, permukiman, peternakan, dan industri. Hal ini diperburuk dengan bertambahnya jumlah luasan lahan kritis akibat perencanaan dan pengawasan yang kurang baik. Perubahan ini juga berdampak pada kenaikan

temperatur permukaan tanah (Widiawaty et al., 2024).

Meskipun demikian perubahan tersebut tidak merata. Penurunan tutupan lahan dan peningkatan permintaan jasa ekosistem di daerah aliran sungai, seiring dengan penurunan hasil air, misalnya beberapa kecamatan mengalami kelangkaan air, sementara kecamatan lain memiliki sumber daya air yang melimpah (Suryanta et al., 2024).

#### B. Potensi Biofisik Pengembangan Agroforestri Berbasis Kopi

Jenis kopi yang paling banyak digemari adalah kopi Arabika (*Coffea arabica*) dan kopi Robusta (*Coffea canephora*). Kopi arabika dapat tumbuh diatas 1000 m dpl, hanya kopi Robusta yang dapat tumbuh baik hingga 800 m dpl (Putra & Ferry, 2015). Kopi arabika dapat tumbuh dengan curah hujan 1250-2500 mm per tahun dan suhu udara rata-rata 15-25°C (Prastowo et

al., 2010) (Kementerian Pertanian, 2014). Kopi yang banyak dibudidayakan di lokasi penelitian adalah kopi arabika. Kopi arabika dapat dipanen pada umur 2-2,5 tahun dan dapat terus dipanen hingga umur 15-20 tahun (Putra & Ferry, 2015).

Agroforestri kopi di lokasi penelitian dilakukan dengan pola Pengakuan dan Perlindungan Kemitraan Kehutanan (KulinKK), yang merupakan kerjasama antara LMDH dengan Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Bandung Selatan. Kawasan Hutan KPH Bandung Selatan terletak pada ketinggian antara 600 m – 2.400 mdpl, sebagian besar berada di dataran tinggi dan sebagian kecil di dataran rendah. Kondisi topografi lapangan berbukit-bukit dengan bentuk lapangan bergelombang sampai landai dengan jenis tanah latosol, andosol, dan regosol, material batuan induk berupa endapan

lempung, napal gamping dan tufa vulkanik menengah (sitosol) dengan tanah gembur, tekstur tanah liat, struktur tanah rapuh hingga menggumpal, dan tanah dengan sensitivitas erosi sedang hingga tinggi. Iklim kawasan hutan menurut klasifikasi Schmidt dan Ferguson termasuk dalam tipe iklim A dan B dengan kisaran suhu udara 22°C – 33°C, dan curah hujan rata-rata 1.500 – 5.200 mm/tahun (Perum Perhutani, 2022). Berdasarkan karakteristik wilayah di atas, maka kawasan hutan produksi KPH Bandung Selatan yang secara administratif meliputi Kecamatan Rancabali dan Kecamatan Pasirjambu cocok untuk pengembangan budidaya kopi dengan pola agroforestri. Di wilayah ini juga terdapat peternakan sapi (Kresna et al., 2024), serta perkebunan teh (Gambar 2) dan pabrik teh yang dikelola oleh PT Perkebunan Nusantara (PTPN).



Gambar (Figure) 2. Salah satu kombinasi kayu-kopi yang berbatasan dengan perkebunan teh di Desa Indragiri, Kecamatan Rancabali (One of the coffee tree combinations bordering the tea plantation in Indragiri Village, Rancabali Sub-district)

Sumber (source): Foto diambil oleh (photo taken by) Widiyanto (2022)

### C. Kegiatan Usaha

Petani di Kedua LMDH membudidayakan kopi sebagai komoditas utama tanaman Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) di bawah tegakan pinus dan rimba campur seperti jenis mahoni, rasamala dan puspa. Petani penggarap lahan hutan di Kecamatan Rancabali memiliki rata-rata lahan garapan di hutan yang lebih luas dibandingkan petani di Kecamatan Pasirjambu. Demikian juga dengan jumlah produksi kopi yang lebih banyak (Tabel 1). Meskipun demikian, rata-rata pendapatan dari hutan di Kecamatan Rancabali lebih kecil daripada di Kecamatan Pasirjambu.

Perbedaan pendapatan ini dikarenakan petani di LMDH Tenjolaya, Kecamatan Pasirjambu menanam padi dan tanaman sayuran selain kopi. Jenis tanaman sayuran yang paling banyak dibudidayakan adalah labu, tomat, buncis, dan cabai. Secara akumulatif, pendapatan dari sayuran lebih besar dibandingkan pendapatan dari kopi. Rata-rata pendapatan dari hutan di Kecamatan Rancabali hanya sekitar 29,5% dibanding pendapatan dari non-hutan (70,5%). Sementara itu di Kecamatan Pasirjambu, kontribusi pendapatan dari hutan lebih besar dibandingkan di

Kecamatan Rancabali yaitu 45,4%, meskipun jumlah ini juga masih lebih kecil dari pendapatan non- hutan (54,6%).

Studi tentang masyarakat yang bergantung pada hutan di Indonesia mengungkapkan kontribusi sumber daya hutan yang bervariasi terhadap pendapatan rumah tangga. Di sebuah desa dekat Bengkulu misalnya, kawasan hutan lindung menyumbang 52,5% dari total pendapatan rumah tangga (Senoaji, 2009). Demikian pula di desa-desa zona penyangga Taman Nasional Kerinci Seblat, produk kayu menyumbang 66,05% terhadap pendapatan rumah tangga bulanan (Rahmat & Hamdi, 2007). Produk hutan nonkayu juga memainkan peran penting, dengan rotan dan damar masing-masing menyumbang 78% dan 52% terhadap total pendapatan petani di Seram Timur (Kastela & Kamaruddin, 2021). Namun, kontribusi pendapatan hutan dapat sangat bervariasi antar desa. Di masyarakat sekitar Taman Nasional Kutai, kontribusi pendapatan hutan berkisar antara 70,04% di satu desa hingga 0% di desa lain (Rahmah et al., 2019). Studi-studi ini menyoroti pentingnya sumber daya hutan bagi mata pencaharian pedesaan di

Tabel (Table) 1. Karakteristik usahatani di lokasi penelitian (*Farming characteristic in the research location*)

Kecamatan ( <i>Sub-district</i> )	Rancabali	Pasirjambu
Ketinggian Lokasi (mdpl)	1.650	1.050
Komoditas HHBK	Kopi	Kopi
Rata-rata luas lahan garapan (ha)	1,25	0,64
Produksi kopi (kg/tahun)	7.075	4.490
Komoditas Pertanian		Padi, sayuran
Rata-rata pendapatan dari hutan per tahun (Rp.)	7.718.182	14.919.167
Rata-rata pendapatan dari luar hutan per tahun (Rp.)	20.125.455	15.811.667

Sumber (*source*): Data diolah (*processed data*, 2022)

Indonesia, tetapi juga menunjukkan variabilitas dalam ketergantungan pendapatan hutan di berbagai komunitas dan wilayah. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di atas, maka kontribusi pendapatan dari hutan di lokasi penelitian ini lebih kecil.

#### D. Kelembagaan LMDH

Syahyuti (2006) menyatakan bahwa aspek kelembagaan ada dua, yaitu aspek kelembagaan dan aspek organisasi. Aspek kelembagaan merupakan sesuatu yang abstrak yang menentukan “jiwa” suatu lembaga berupa nilai, norma, dan aturan. Sedangkan aspek organisasi lebih bersifat visual dan statis berupa struktur, pembagian peran, tujuan keanggotaan, dan lain sebagainya. Unsur-unsur ini bersama-sama memengaruhi aktivitas dan sumber daya untuk memberikan stabilitas dan makna bagi kehidupan sosial. Untuk memberikan stabilitas ini, lembaga perlu memperhatikan unsur-unsur seperti aturan, norma, manfaat budaya, peran, dan sumber daya material. Hal inilah yang dapat membentuk komitmen organisasi dalam memberikan stabilitas melalui berbagai kebijakan dan program yang ada.

Berdasarkan definisi tersebut maka dilakukan penilaian kelembagaan terhadap dua Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH) yaitu LMDH Kanaan Hijau Desa Indragiri dan LMDH Tenjolaya Desa Tenjolaya. Hasil identifikasi aspek kelembagaan kedua LMDH disajikan pada Tabel 2.

Pihak-pihak yang erat kaitannya dengan kedua LMDH tersebut adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melalui Perhutani KPH Bandung Selatan, Desa Indragiri dan Desa Tenjolaya, serta pedagang yang memungut hasil program PS khususnya kopi. Kelembagaan eksternal kedua LMDH disajikan pada Gambar 3.

LMDH merupakan wadah bagi para petani kopi untuk bekerjasama memanfaatkan lahan yang dikelola Perhutani. KPH Bandung Selatan merupakan mitra LMDH dalam pengelolaan hutan dengan skema PS di kawasan tersebut. Perhutani KPH Bandung Selatan mempunyai peran yang sangat besar dalam keberlangsungan pengelolaan hutan oleh kedua LMDH melalui skema PS, Perhutani KPH Bandung Selatan memberikan akses yang besar bagi masyarakat untuk terlibat dalam pengelolaan hutan.

Tabel (Table) 2. Penilaian kondisi kelembagaan kedua LMDH Kanaan Hijau dan LMDH Tenjolaya di KPH Bandung Selatan (Assessment of the institutional condition of the two LMDHs in the South Bandung KPH)

Aspek (Aspect)	LMDH Kanaan Hijau	LMDH Tenjolaya
Struktur Organisasi	Ada	Ada
Tujuan Organisasi	Ada	Ada
Anggota	Ada	Ada
Kepemimpinan	Ada	Ada
Norma-norma	Ada	Ada
Ikatan sosial	Ada	Ada

Sumber (source): Data diolah (processed data, 2022)



Gambar (Figure) 3. Kelembagaan eksternal LMDH (External institutions of LMDH)

Sumber (source): Data diolah (processed data, 2022)

Skema PS di wilayah Perum Perhutani didasarkan pada Keputusan Menteri LHK No. 39 Tahun 2017 tentang Perhutanan Sosial di Wilayah Kerja Perum Perhutani. Skema PS yang ada berdasarkan keputusan menteri tersebut terdiri dari dua skema yaitu Izin Pengelolaan Hutan Perhutanan Sosial (IPHPS) dan Pengakuan dan Perlindungan Kemitraan Kehutanan (Pengakuan dan Perlindungan Kemitraan Kehutanan/Kulin KK). Kedua LMDH di lokasi penelitian memiliki skema Kulin KK. Melalui program PS, anggota LMDH atau petani mendapatkan akses untuk mengelola lahan di kawasan Perhutani KPH Bandung Selatan untuk meningkatkan kesejahteraannya.

Skema Kulin KK bertujuan untuk menyelesaikan konflik dan memberikan akses legal terhadap sumber daya hutan bagi masyarakat (Herwindo et al., 2021). Skema ini merupakan bagian dari program PS yang diatur oleh Menteri LHK (Ma’ruf, 2019). Skema ini melibatkan kerja sama antara pengelola hutan dan masyarakat untuk mengembangkan dan memanfaatkan sumber daya hutan untuk

kepentingan ekonomi (Ma’ruf, 2019). Pelaksanaan kemitraan kehutanan memerlukan identifikasi kepentingan, peran, dan penyusunan model kemitraan para pemangku kepentingan (Wakka & Bisjoe, 2019). Meskipun program ini bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendorong keberlanjutan, program ini telah menciptakan konflik baru karena berbagai aktor bersaing untuk memanfaatkan hutan (Shalati, 2022). Meskipun terdapat tantangan-tantangan ini, kebijakan ini bertujuan untuk mengatasi ketimpangan tanah dengan menyediakan akses bagi masyarakat tanpa bertentangan dengan prinsip kebebasan berkontrak (Ma’ruf, 2019).

Pemerintah desa mempunyai hubungan yang erat dengan LMDH karena lahan garapan masyarakat di kawasan hutan Perhutani KPH Bandung Selatan secara administratif termasuk dalam wilayah administrasi Pemerintah Desa Indragiri dan Desa Tenjolaya. Ketua LMDH Kanaan Hijau Desa Indragiri juga merupakan Kepala

Dusun dan Kepala LMDH Tenjolaya Desa Tenjolaya merupakan mantan Kepala Desa yang keduanya mempunyai hubungan dekat dengan LMDH. Hubungan kerja sama antara LMDH dengan KLHK selaku penerbit izin PS di wilayah KPH Perhutani Bandung Selatan dituangkan dalam Keputusan Menteri LHK. Sementara itu, hubungan kerjasama LMDH dengan pengepul terkait dengan pemasaran produk PS khususnya kopi bersifat informal, tanpa ada perjanjian tertulis, sehingga petani dapat menjual produk pada pembeli manapun.

Dalam kerjasama ini kedua belah pihak (LMDH dan Perhutani KPH Bandung Selatan) mempunyai hak dan kewajiban masing-masing. Perhutani mempunyai hak sebagai pemegang kekuasaan utama dalam pengelolaan hutan dan wajib memberikan kesempatan kepada masyarakat sekitar untuk menggarap tanah Perhutani dengan syarat-syarat tertentu. Selain itu, Perhutani juga berkewajiban memberikan pembinaan dan pendampingan dalam pengembangan usaha dan penanganan pasca panen.

Di sisi lain, masyarakat mempunyai hak untuk menggarap hutan serta mendapat bimbingan dan bantuan dalam pengembangan usaha dan pascapanen. Masyarakat juga wajib membagi hasil budidayanya kepada Perhutani sesuai kesepakatan. Bagi hasil merupakan pembagian hasil produksi panen di bawah pengelolaan tanaman kopi. Perbandingan prediksi nominal bagi hasil sesuai perjanjian kerjasama yaitu 80% untuk petani kopi, 15% untuk Perhutani, 2,5% untuk LMDH, dan 2,5% untuk pemerintah desa. Target prediksi nominal bagi hasil diserahkan kepada LMDH untuk ditagihkan

kepada petani kopi yang dibantu oleh ketua KTH dalam proses penagihannya. Bagi hasil hanya bisa dilakukan bila petani kopi sudah menjual hasil panennya. Bagi hasil yang menjadi bagian Perhutani diserahkan oleh LMDH kepada mandor, sedangkan bagi hasil yang menjadi bagian LMDH dan pemerintah desa diambil oleh LMDH (Aditama, 2019). Besaran bagi hasil ditentukan dari jumlah hasil panen petani sebanyak 20% yang dihitung dengan syarat harga buah kopi ditetapkan oleh Perum Perhutani sebesar Rp 10.000/kg. Harga buah kopi yang ditetapkan Perum Perhutani lebih rendah dibandingkan harga di pasaran yakni Rp.12.000,00/kg.

Produksi kopi pada lahan hutan milik Perhutani KPH Bandung Selatan yang dibagikan petani kepada Perhutani berjumlah 40.505 kg pada tahun 2016 dan menurun menjadi 24.110 kg pada tahun 2021. Jika bagi hasil 20% maka total produksinya adalah 5 kali lipat. Selain itu, masyarakat bersama Perhutani melakukan pengawasan, pengamanan, dan perlindungan kawasan hutan untuk menjaga seluruh aset yang ada di wilayah kemitraan dan membuka ruang bagi berbagai pemangku kepentingan untuk memberikan bimbingan teknis dan penguatan kelembagaan ekonomi kepada LMDH.

Hak dan kewajiban masing-masing pihak tersebut di atas secara umum telah dilaksanakan dengan baik. Misalnya terkait pengamanan hutan, selama ini situasi keamanan cukup baik dengan sangat sedikit gangguan hutan yang terjadi di kedua wilayah tersebut. Dalam anggaran dasar dan anggaran rumah tangga kedua LMDH disebutkan bahwa ada beberapa

kewajiban anggota kelompok LMDH seperti menjaga tegakan di sekitar lahan garapannya. Hal ini merupakan bentuk hal lain yang berkaitan dengan kegiatan budidaya kopi, dimana masyarakat diberikan kebebasan untuk menanamnya. Produksi tanaman kopi terbukti menjadi salah satu sumber pendapatan utama, khususnya bagi petani di LMDH Kanaan Hijau yang sangat terbatas aksesnya terhadap pekerjaan dari luar.

Meski begitu, masing-masing menemukan beberapa hal yang tidak berjalan ideal. Salah satunya adalah kurangnya pendampingan dan bimbingan dari Perhutani, khususnya terkait upaya peningkatan sumber pendapatan dari hutan. Sementara itu petani memerlukan pendampingan untuk meningkatkan produktivitas hasil, termasuk teknik budidaya dan pemasaran yang tepat. Salah satu manfaat penting pendampingan dan pelatihan kelompok tani adalah peningkatan pengetahuan dan pemahaman anggota kelompok tani, pengelolaan keuangan melalui pencatatan keuangan, serta pengetahuan masyarakat tentang penjualan *online* melalui platform digital (Anggarini et al., 2021). Kendala lainnya adalah terkait pembagian hasil kopi. Berdasarkan informasi, petani belum sepenuhnya memberikan bagi hasil yang seharusnya diberikan. Untuk tahun 2022 ini disebabkan oleh menurunnya jumlah panen yang diperoleh petani akibat pemupukan yang tidak intensif karena keterbatasan modal, dan perubahan cuaca dimana musim hujan berlangsung lama sehingga mengurangi jumlah kopi yang dihasilkan.

#### E. Kelembagaan Pasar

Pola atau rantai pemasaran kedua LMDH ini hampir sama, dengan rantai pemasaran yang cukup pendek. Mayoritas petani menjual kopinya kepada ketua LMDH. Hanya sebagian kecil yang menjual ke pedagang atau pengepul lainnya. Untuk LMDH Kanaan Hijau, hampir seluruh petani menjual kopinya kepada ketua LMDH. Keuntungan menjual kepada ketua LMDH adalah berapapun hasil panen petani akan diterima. Beberapa petani juga melakukan peminjaman dana jika memerlukannya untuk kegiatan budidaya atau kebutuhan sehari-hari yang pembayarannya dapat dilakukan pada saat panen kopi.

Di LMDH Kanaan Hijau, sebagian kopi diolah terlebih dahulu menjadi bubuk kopi lalu dijual. Adanya kegiatan pengolahan ini tentunya meningkatkan nilai tambah yang juga meningkatkan hasil yang diterima khususnya oleh pimpinan LMDH dan lembaganya. Hal ini tidak berbeda dengan LMDH Tenjolaya dimana beberapa orang, termasuk Ketua LMDH, sudah mulai mengolah kopi. Hampir seluruh petani di LMDH Kanaan Hijau menjual kopi ke Ketua LMDH. Petani yang menjual langsung ke pasar jumlahnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan di LMDH Tenjolaya (sekitar 60-70%). Hal ini disebabkan akses dari Desa Tenjolaya menuju pusat kota yang dekat dengan kondisi jalan yang baik sehingga petani memiliki akses yang lebih tinggi untuk menjual ke pedagang atau pengepul lainnya. Terdapat potongan sebesar Rp 200/kg dari hasil penjualan anggota yang akan digunakan untuk operasional LMDH. Beberapa produk dan proses pemasaran dari petani hingga Ketua LMDH disajikan pada Gambar 4.



Gambar (Figure) 4. (a) Produk olahan kopi di LMDH Kanaan Hijau Desa Indragiri (*Processed coffee products in LMDH Kanaan Hijau, Indragiri Village*); (b) Petani yang menjual kopi kepada ketua LMDH Tenjolaya Desa Tenjolaya beserta hasil panen yang sedang ditimbang (*A farmer sells coffee to the head of LMDH Tenjolaya, Tenjolaya Village*)

Sumber (source): Foto diambil oleh (photo taken by) Widiyanto (2022)

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa lokasi dan aksesibilitas memegang peranan penting dalam kepuasan konsumen dan keputusan pembelian, misalnya penelitian yang menunjukkan hubungan positif antara lokasi dan kepuasan konsumen (Lie et al., 2021). Faktor-faktor seperti jarak ke pusat populasi diidentifikasi sebagai faktor yang berpengaruh (Lie et al., 2021). Selain itu, harga dan kualitas memengaruhi keputusan pembelian melalui sikap konsumen (Hermawan & Hadibrata, 2023). Penelitian lain mengonfirmasi pengaruh signifikan lokasi terhadap keputusan pembelian (Putri & Manik, 2021). Meskipun demikian, salah satu penelitian menemukan aksesibilitas memiliki pengaruh negatif dan tidak signifikan terhadap kepuasan konsumen (Valerina & Adysholihah, 2022).

#### F. Hubungan Kondisi Tutupan Lahan DAS dengan Pola Agroforestri

Banyak penelitian menunjukkan bahwa praktik agroforestri di suatu DAS berkontribusi lebih baik secara ekologi

dibandingkan pertanian monokultur. Studi menunjukkan bahwa agroforestri dapat meningkatkan kualitas DAS dengan mengurangi erosi, menurunkan aliran permukaan puncak, dan meningkatkan aliran dasar (Fitri et al., 2020; Junaidi, 2013). Di DAS Ciliwung Hulu, agroforestri memengaruhi laju erosi, nomor kurva (CN), dan potensi retensi air (Fitri et al., 2020). Demikian pula di DAS Cisadane, penerapan agroforestri di lahan kering meningkatkan aliran dasar sebesar  $11,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , menurunkan aliran permukaan puncak sebesar  $4,02 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan menurunkan konsentrasi sedimen sebesar  $90,47 \text{ mg/l}$  (Junaidi, 2013). Agroforestri juga berperan penting dalam menjaga lingkungan dan mencegah banjir, erosi, dan kekeringan di DAS (Sanudin & Priambodo, 2014). Lebih jauh lagi, jika diterapkan dengan baik, agroforestri dapat memberikan kontribusi terhadap pelestarian lingkungan dan penghidupan masyarakat di daerah aliran sungai (Wulandari, 2013).

Agroforestri menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan pertanian monokultur di DAS. Agroforestri

meningkatkan pengelolaan air dengan meningkatkan aliran dasar dan mengurangi aliran permukaan puncak serta konsentrasi sedimen di sungai (Junaidi, 2013). Sistem agroforestri menunjukkan produktivitas lahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan monokultur, sebagaimana dibuktikan oleh nilai Rasio Ekuivalen Lahan (LER) yang lebih besar dari satu (Rachman & Hani, 2014). Pendekatan ini juga mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik, misalnya pengamatan pada tanaman porang menunjukkan tinggi dan perkembangan daun yang lebih unggul dalam pengaturan agroforestri dibandingkan monokultur (Maria et al., 2022). Selain itu, agroforestri berkontribusi terhadap konservasi lingkungan, melestarikan hutan dan DAS sekaligus mendukung ekonomi pedesaan melalui diversifikasi produk (Wulandari, 2013). Jika diterapkan dengan benar, agroforestri dapat secara bersamaan mengatasi masalah ekologi dan meningkatkan mata pencaharian masyarakat, menjadikannya alternatif yang lebih baik daripada pertanian monokultur di DAS.

Praktik agroforestri berbasis kopi juga memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi DAS. Di DAS Sekampung misalnya, agroforestri kopi berkontribusi terhadap produksi berkelanjutan dan pemeliharaan tutupan lahan di daerah tangkapan air (Fitriani et al., 2020). Sistem agroforestri berbasis kopi memberikan banyak manfaat, termasuk konservasi tanah dan air, pelestarian keanekaragaman hayati, siklus nutrisi, pengaturan iklim mikro, penyerapan karbon, pengendalian hama dan penyakit, dan peningkatan pendapatan petani (Supriadi & Pranowo,

2016). Meskipun menghadapi tantangan seperti keterbatasan pengetahuan petani, kurangnya modal, dan masalah penguasaan lahan, agroforestri kopi memiliki potensi yang signifikan untuk dikembangkan di Indonesia (Supriadi & Pranowo, 2016).

#### **IV. KESIMPULAN**

Secara biofisik Kabupaten Bandung bagian Selatan yang merupakan hulu DAS Citarum mempunyai potensi untuk mengembangkan agroforestri berbasis kopi. Secara lingkungan, kopi juga lebih baik dibandingkan tanaman semusim. Kondisi ini berkaitan dengan peningkatan tutupan vegetasi di sub-DAS Ciwidey yang sebelumnya mayoritas dikonversi menjadi kebun sayuran. Kedua LMDH yang diteliti yaitu LMDH Kanaan Hijau dan LMDH Tenjolaya sudah memiliki kelembagaan internal yang baik sehingga mampu menampung dan menyampaikan aspirasi anggotanya. Kedua LMDH tersebut juga telah memenuhi syarat dan ditetapkan dalam skema PS Kulin KK, sebagai pengganti skema sebelumnya yaitu Pengelolaan Hutan Berbasis Masyarakat (PHBM). Ketua LMDH mempunyai pengaruh yang besar terhadap berjalannya lembaga LMDH. Selain itu, ketua LMDH juga berperan sebagai pengumpul kopi yang dipanen petani. Namun LMDH memerlukan bantuan dari pihak terkait khususnya Perhutani untuk mengatasi rendahnya produktivitas tanaman petani serta pengolahan dan pemasaran kopi. Sebagian besar hasil panen kopi dipasarkan petani dalam bentuk mentah tidak diolah (bentuk ceri) sehingga margin keuntungan yang diterimanya lebih kecil dibandingkan

pelaku pasar lain. Dengan melihat kontribusi pendapatan dari hutan yang lebih rendah dibanding pendapatan dari non-hutan dan kontribusi hasil sayuran lebih tinggi dari hasil kopi maka pemerintah, termasuk Perum Perhutani, perlu melakukan intervensi kebijakan untuk mencegah degradasi lingkungan. Beberapa langkah yang dapat diambil antara lain: 1)Pendampingan dan pelatihan untuk meningkatkan pemahaman petani tentang budidaya dan pengolahan kopi, 2)Penyuluhan yang intensif terutama tentang manfaat ekologi hutan, untuk menghindari konversi lahan dari hutan menjadi monokultur kopi atau sayuran, 3)Bantuan atau pinjaman dana dengan jasa yang rendah, agar petani tidak langsung menjual kopi dalam bentuk *cherry bean*, tetapi sudah melalui minimal satu tahapan pengolahan lanjutan, dan 4)Bantuan pemasaran dari instansi terkait untuk mempromosikan kopi olahan dari masyarakat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan pada Kepala KPH Bandung Selatan, Perum Perhutani yang telah memberikan izin dalam pengambilan data di lapangan dan Dr. Sanudin (BRIN), yang telah memberikan izin penggunaan sebagian data untuk digunakan dalam artikel ini.

#### KONTRIBUSI

E.R.J: Menulis draft awal, pengolahan data; A.W.: Analisis data, menulis draft akhir, proofing and editing.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, B., Sanudin, Siarudin, M., Widiyanto, A., Diniyati, D., Sudomo, A., Hani, A., Fauziyah, E., Suhaendah, E., Widyaningsih, T. S., Handayani, W., Maharani, D., Suhartono, Palmolina, M., Swestiani, D., Budi Santoso Sulistiadi, H., Winara, A., Nur, Y. H., Diana, M., ... Ruswandi, A. (2022). Traditional Subsistence Farming of Smallholder Agroforestry Systems in Indonesia: A Review. *Sustainability*, *14*(14), 8631. <https://doi.org/10.3390/su14148631>
- Aditama, F. V. (2019). *Kelembagaan PHBM Tanaman Kopi di Bawah Tegakan di RPH Logawa, BKPH Banjarnegara, KPH Bandung Selatan*. IPB University.
- Anggarini, D. R., Nani, D. A., & Aprianto, W. (2021). Penguatan Kelembagaan dalam Rangka Peningkatan Produktivitas Petani Kopi pada GAPOKTAN Sumber Murni Lampung (SML). *Sricommerce: Journal of Sriwijaya Community Services*, *2*(1), 59–66. <https://doi.org/10.29259/jscs.v2i1.59>
- Anita, G., Tabrani, & Idwar. (2016). Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) di Medium Gambut pada Berbagai Tingkat Naungan dan Dosis Pupuk Nitrogen. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, *3*(2), 1–9.
- Azzahra, F., & Sujali, S. (2013). Pengembangan Pariwisata Alam Kawasan Ciwidey Di Kabupaten Bandung. *Jurnal Bumi Indonesia*, *2*(2).

- BPS Kabupaten Bandung. (2023). *Produksi Perkebunan Kopi Menurut Kecamatan di Kabupaten Bandung (RibuTon), 2021-2022*.  
<https://doi.org/10.25181/jppt.v18i3.1503>
- Campanha, M. M., Santos, R. H. S., Freitas, G. B. de, Martinez, H. E. P., Jaramillo-Botero, C., & Garcia, S. L. (2007). Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. *Revista Árvore*, 31(5), 805–812.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500004>
- Fadhil, M. Y., Hidayat, Y., & Baskoro, D. P. T. (2021). Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan dan Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 213–220.  
<https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.213>
- Fitri, R., Permatasari Putri Hartoyo, A., Intan Mangunsong, N., & satriawan, H. (2020). Pengaruh Agroforestri Terhadap Kualitas Daerah Aliran Sungai Ciliwung Hulu, Jawa Barat (Impact of agroforestry on the quality of Ciliwung Hulu Watershed, West Java). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 4(2), 173–186.  
<https://doi.org/10.20886/jppdas.2020.4.2.173-186>
- Fitriani, F., Arifin, B., Zakaria, W. A., & Ismono, R. H. (2020). Kinerja Usahatani Kopi di Hulu DAS Sekampung, Tanggamus, Lampung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 18(3), 165.  
<https://doi.org/10.25181/jppt.v18i3.1503>
- Gibson, C. C., Ostrom, E., & Ahn, T. K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics*, 32(2), 217–239.  
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00092-0)
- Handayani, D. A. (2022). Pengaruh Tegakan Sengon (*Paraserianthes falcataria* L.) terhadap Kandungan C, N Tanah dan Produktivitas Buah Perkebunan Salak. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 16(1), 30–39.  
<https://doi.org/10.22146/jik.v16i1.1532>
- Hermawan, M. R., & Hadibrata, B. (2023). Pengaruh Harga, Promosi, Suasana Toko, Kualitas Layanan, Citra Merek Terhadap Keputusan Pembelian Coffee Shop Dengan Sikap Intervening. *Jurnal Locus Penelitian Dan Pengabdian*, 2(8), 780–795.  
<https://doi.org/10.58344/locus.v2i8.1579>
- Herwindo, E., Rosyani, R., & Achmad, E. (2021). Community Perception and Participation of the Forestry Partnership Scheme on PT. Restorasi Ekosistem Indonesia Working Area in Jambi Province. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 18(2), 202–211.  
<https://doi.org/10.14710/presipitasi.v18i2.202-211>
- Imansyah, M. F. (2012). Studi Umum Permasalahan dan Solusi DAS Citarum

- Serta Analisis Kebijakan Pemerintah. *Jurnal Sositologi*, 25, 18–33.
- Junaidi, E. (2013). Peranan Penerapan Agroforestry Terhadap Hasil Air Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisadane. *J Penelitian Agroforestri.*, 1(1), 41–53. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132774645>
- Kardhana, H., Solehudin, Wijayasari, W., & Rohmat, F. I. W. (2024). Assessing basin-wide soil erosion in the Citarum watershed using USLE method. *Results in Engineering*, 22, 102130. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102130>
- Kastela, A., & Kamaruddin, K. (2021). Kontribusi Hasil Hutan Rotan dan Damar terhadap Pendapatan Masyarakat Desa Administratif Taruy, Kecamatan Tutuk Tolu Kabupaten Seram Bagian Timur. *Jurnal Agrohut*, 11(2), 75–81. <https://doi.org/10.51135/agh.v11i2.127>
- Kresna, R., Winara, A., Widiyanto, A., Achmad, B., Sanudin, Siarudin, M., Widyaningsih, T. S., Gartika, D., Diniyati, D., Ruswandi, A., Fauziah, E., Utomo, M. M. B., Pieter, L. A. G., Nur, Y. H., Diana, M., & Permatasari, H. R. (2024). Out of the woods: social capital and smallholder dairy farmers' access to state-owned agroforestry lands in West Java, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 98(3), 637–652. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00934-z>
- Lie, D., Butarbutar, M., Simatupang, S., Efendi, E., Damanik, H. A., & Silaen, M. F. (2021). Pengaruh Lokasi Terhadap Kepuasan Konsumen Pada Kedai Kopi Baravi Pematangsiantar. *Strategic: Journal of Management Sciences*, 1(2), 32. <https://doi.org/10.37403/strategic.v1i2.19>
- Maria, M., Ayu, S. M., & Lani, L. (2022). Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Porang (*Amorphophallus Muelleri*) Agroforestry Dan Monokultur Pada Kelompok Tani Sari Bunga Kayu Kabupaten Luwu Timur. *Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA*, 3(2), 23. <https://doi.org/10.55285/bonita.v3i2.961>
- Ma'ruf, A. (2017). Agrosilvopastura Sebagai Sistem Pertanian Terencana Menuju Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Penelitian Pertanian Bernas*, 13(2), 81–90.
- Ma'ruf, A. (2019). Kedudukan Asas Kebebasan Berkontrak Dalam Kebijakan Kemitraan Kehutanan. *Jurnal Wacana Hukum*, 25(1), 30. <https://doi.org/10.33061/1.jwh.2019.25.1.2954>
- Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W. J., Andres, C., & Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104085. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb053>
- Nurida, N. L., Mulyani, A., Widiastuti, F., & Agus, F. (2020). Potensi dan Model Agroforestry untuk Rehabilitasi Lahan

- Terdegradasi di Kabupaten Berau, Paser dan Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 42(1), 13. <https://doi.org/10.21082/jti.v42n1.2018.13-26>
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 49/Permentan/OT.140/42014 Tentang Pedoman Teknis Budidaya Kopi Yang Baik (2014).
- Perum Perhutani. (2022). *KPH Bandung Selatan*. <https://www.perhutani.co.id/Tentang-Kami/Struktur-Organisasi/Divisi-Regional/Janten/Kph-Bandung-Selatan/>.
- Poliski; Margaret M., & Ostrom, E. (2015). *An Institutional Framework for Policy Analysis and Design*. <https://ostromworkshop.indiana.edu/Pdf/Teaching/lad-for-policy-applications.pdf>.
- Putra, S., & Ferry, Y. (2015). Keragaan Kopi Arabika Java Preanger di Jawa Barat. *SIRINOV*, 33(113–126), 113–126.
- Putri, C. M., & Manik, C. D. (2021). Pengaruh Lokasi Dan Store Atmosphere Terhadap Keputusan Pembelian Pada Warung Kopi Jaelansky Pamulang. *Jurnal Ilmiah PERKUSI*, 1(1), 37. <https://doi.org/10.32493/j.perkusi.v1i1.9977>
- Rachman, E., & Hani, A. (2014). *Pola Agroforestry Sengon (Falcataria moluccana L.) dan Cabai Merah Keriting di Dataran Tinggi Ciamis Jawa Barat*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:131840220>
- Rahmah, R., Rayatin, Y., & Aipassa, M. I. (2019). Pemanfaatan Sumber Daya Hutan Oleh Masyarakat di Sekitar Taman Nasional Kutai. *AGRIFOR*, 18(2), 297. <https://doi.org/10.31293/af.v18i2.4298>
- Rahmat, M., & Hamdi, H. (2007). Pendapatan Masyarakat dari Hutan dan Faktor-faktor Sosial Ekonomi yang Memengaruhinya: Kasus Desa Penyangga TNKS di Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 4(2), 193–204. <https://doi.org/10.20886/jpsek.2007.4.2.193-204>
- Ruhimat, I. S., & Widiyanto, A. (2021). Sustainable development strategy for agroforestry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 883(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/883/1/012032>
- Ruwiyati, N. Y., Dasipah, E., & Permana, N. S. (2013). Pengaruh Faktor-Faktor Produksi Terhadap Keberhasilan Usaha Tani Kopi di Gunung Puntang Kecamatan Ciwidey Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat. *OrchidAgri*, 3(1), 13–24.
- Sanudin, S., & Priambodo, D. (2014). *Analisis Sistem Dalam Pengelolaan Hutan Rakyat Agroforestry di Hulu DAS Citanduy: Kasus di Desa Sukamaju, Ciamis*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109230026>

- Senoaji, G. (2009). Kontribusi Hutan Lindung Terhadap Pendapatan Masyarakat Desa Di Sekitarnya: Studi Kasus Di Desa Air Lanang Bengkulu (Contribution of Protected Forest on Income People in the Village Surroundings: Case Study in Air Lanang, Bengkulu, Sumatera, Indonesia). *Journal of People and Environment*, 16(1), 12–22. <https://doi.org/10.22146/jml.18689>
- Shalati, S. N. (2022). Analisis Ekonomi Politik Agraria dalam Akses Hutan di Wilayah Perhutani Melalui Program Perhutanan Sosial. *Jurnal Perempuan*, 27(1), 73–84. <https://doi.org/10.34309/jp.v27i1.644>
- Simamora, H. I. (2024). Kontribusi Pertanian Agroforestry Terhadap Pendapatan Usaha Tani Kopi. *Agri Wiralodra*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.31943/agriwiralodra.v16i1.67>
- Sunandar, Y. P. (2024, February 19). *Mengenal DAS Citarum Hulu*. <https://Walungan.Org/2024/02/19/Mengenal-Das-Citarum-Hulu/>.
- Supriadi, H., & Pranowo, D. (2016). Prospek Pengembangan Agroforestri Berbasis Kopi di Indonesia. *Perspektif*, 14(2), 135. <https://doi.org/10.21082/p.v14n2.2015.135-150>
- Supriatna, S., & Aminah, M. (2016). Analisis Strategi Pengembangan Usaha Kopi Luwak (Studi Kasus UMKM Careuh Coffee Rancabali-Ciwidey, Bandung). *Jurnal Manajemen Dan Organisasi*, 5(3), 227. <https://doi.org/10.29244/jmo.5.3.227-243>
- Suryanta, J., Nahib, I., Ramadhani, F., Rifaie, F., Suwedi, N., Karolinoerita, V., Cahyana, D., Amhar, F., & Suprajaka, S. (2024). Modelling and dynamic water analysis for the ecosystem service in the Central Citarum watershed, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 122–137. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.149114>
- Syahyuti. (2006). *30 Konsep Penting dalam Pembangunan dan Pertanian*. PT Bina Rena Pariwara.
- Utami, N. N. (2015). Pengelolaan Hutan Bersama Masyarakat Ditinjau Dari Perspektif Assets Based Community Development. *Share : Social Work Journal*, 5(2). <https://doi.org/10.24198/share.v5i2.13142>
- Valerina R., M., & Adysholihah F., R. (2022). Pengaruh Aksesibilitas dan Fasilitas terhadap Kepuasan Konsumen Halsean Coffee & Resto. *International Journal Administration Business and Organization*, 3(2), 52–60. <https://doi.org/10.61242/ijabo.22.210>
- Wakka, Abd. K., & Bisjoe, A. R. H. (2019). Membangun Kemitraan Kehutanan pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Mengkendek, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan. *Talenta Conference Series: Agricultural and Natural Resources (ANR)*, 2(1), 18–25.

<https://doi.org/10.32734/anr.v2i1.569>

Widiawaty, M. A., Dede, Moh., Hafiudzan, A., Sunardi, S., Lam, K.-C., Withaningsih, S., & Afriana, N. N. (2024). Landscape Dynamics and Land Surface Temperature in the Upper Citarum, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 566, 03007.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456603007>

Wulandari, C. (2013). *Diversifikasi Hasil Agroforestry di Sekitar Hutan Sumberjaya dan Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Besai*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:222532544>

**PEDOMAN BAGI PENULIS (AUTHOR GUIDELINES)**  
**JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI**

- **BAHASA:** Karya Tulis Ilmiah (KTI) ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris
- **FORMAT:** Naskah diketik pada kertas A4 (210 x 297 mm), huruf Calibri, ukuran font 12 dan dengan spasi 1,15. Pada semua tepi disisakan ruang kosong 2,5 cm. KTI diserahkan dalam format *Microsoft Words*.
- **JUDUL:** Judul KTI harus singkat dan informatif, tidak lebih dari dua baris dan mencerminkan isi tulisan. Judul ditulis dalam Bahasa Indonesia dengan ukuran font 12 dan menggunakan huruf kapital semua (terjemahan dalam bahasa Inggris ditulis miring dengan huruf kapital hanya pada permulaan judul atau yang menyatakan suatu nama, diletakkan di antara tanda kurung), hindari pemakaian kata kerja, rumus, singkatan, dan bahasa tidak resmi.
- **NAMA PENULIS:** Dicantumkan di bawah judul, ditulis lengkap tanpa gelar akademik, urutan berdasarkan penulis pertama, kedua dan seterusnya, disertai alamat lengkap instansi dan email penulis
- **ABSTRAK:** Penulisan abstrak Bahasa Inggris (*Italic font*) dan Bahasa Indonesia, tidak lebih dari 250 kata, ditulis dalam satu paragraf, secara ringkas, jelas, utuh, mandiri, dan terdiri dari permasalahan, tujuan, metoda, dan hasil penelitian.
- **KATA KUNCI:** Tiga sampai lima kata kunci yang mencerminkan substansi naskah ditulis terpisah dengan menggunakan titik koma.
- **PENDAHULUAN:** Pendahuluan berisi latar belakang permasalahan yang ada, hasil - hasil penelitian terkait sebelumnya (*state of the art*), pentingnya penelitian yang dilakukan dan tujuan penelitian.
- **BAHAN DAN METODE:** Lokasi penelitian diterangkan secara geografis disertai peta lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan diterangkan dengan jelas. Metode penelitian dijelaskan secara detil (desain penelitian, perlakuan, rancangan percobaan, metode dan skala analisis, dan lain-lain yang terkait metode) sehingga dapat diulang oleh peneliti lain. Metode yang sudah dipublikasikan harus dicantumkan sumbernya.
- **LANGUAGE:** *Scientific paper (KTI) is written in Indonesian or English*
- **FORMAT:** *The manuscript is typed on an A4 paper (210 x 297 mm), calibri size 12, and 1.15 space. Margin on all edges are 2.5 cm. The manuscript is submitted in MS words format.*
- **TITLE:** *Title of the scientific paper should be short and informative, no more than two lines and reflects the contents. The title is in Indonesian and English. The title in Indonesian is written in Calibri, font size 12, bold, uppercase, center. The title in English is written in calibri, font size 12, italics, sentence case, placed between parentheses. Avoid the use of verbs, formulas, abbreviations, and unofficial language.*
- **NAME OF AUTHOR(S):** *Listed below the title, complete name without the academic degrees, the sequence based on the first author, second etc., accompanied by complete institution addresses and email addresses.*
- **ABSTRACT:** *Abstract is written in English (Italic font) and Indonesian, no more than 250 words, written in one paragraph, concise, clear, and complete, . It consists of research problems, methods, and research findings.*
- **KEY WORD:** *Three to five key words reflect the substantive of the research, separated by semicolon.*
- **INTRODUCTION:** *Introduction must contain background of the existing problems, state of the art, important of the research and the purpose of the research.*
- **MATERIALS AND METHODS:** *Location of the research is described geographically completed with a map of the study sites. Materials and instruments used should be clearly defined. Research methods are described in detail (research design, treatments, experimental design, methods and scale of analysis, and other related methods) so that it can be repeated by other researchers. Published methods must be included the source.*

- **HASIL DAN PEMBAHASAN:** Hasil penelitian disampaikan secara singkat dan jelas. Data yang ditampilkan sudah dianalisis dan relevan, disusun sesuai tujuan penelitian. Data dan informasi dalam Tabel, grafik, dan gambar dilengkapi tafsiran yang benar. Dalam pembahasan data hasil penelitian ditafsirkan dan dikaitkan dengan tujuan, hipotesis (jika ada), diberikan penjelasan mengapa hal tersebut terjadi, dikemukakan hubungan dengan hasil penelitian sebelumnya, dan dikemukakan sitasi dari literatur yang sesuai.
- **KESIMPULAN:** Hasil terpenting dari penelitian disampaikan dalam kesimpulan yang digunakan untuk menjawab tujuan, hipotesis serta temuan lain selama penelitian. Kesimpulan bukan merupakan ulangan dari abstrak, tetapi mengelaborasi hasil-hasil penelitian yang signifikan. Kesimpulan memuat saran-saran yang merupakan implikasi penelitian yang harus dilakukan lebih lanjut.
- **TABEL:** Judul tabel, kolom, lajur, dan sumber data serta keterangan ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Inggris (*dicetak miring*) dengan singkat tetapi jelas serta tidak tebal. Judul tabel ditulis dengan font ukuran 10, spasi 1 dan huruf capital pada awal kalimat. Tabel diberi nomorurut sesuai dengan keterangan di dalam teks. Penggunaan tanda koma (,) dan titik (.) pada angka di dalam tabel masing-masing menunjukkan nilai pecahan/ desimal dan kebulatan seribu. Keterangan tabel diletakkan di bawah tabel. Tabel harus dalam format *Microsoft Words*. Tabel tidak menggunakan garis vertikal. Garis horizontal terletak pada judul kolom atas, sub judul dan akhir tabel (garis penutup tabel). Apabila tabel terpotong karena pergantian halaman, header ditampilkan kembali pada halaman selanjutnya. Tabel dapat diunggah menggunakan file terpisah (*supplementary materials*) dengan memberi tanda posisi tabel pada naskah. Tabel harus mencantumkan sumber. Apabila tabel merupakan hasil analisis primer, maka dapat ditulis sebagai analisis data beserta tahun.
- **RESULT AND DISCUSSION:** *The research results must be clear and short. The presented data have been analyzed and relevant, prepared according to the purpose of the research. Data and information in the tables, graphs, and pictures need to be conveyed with the correct meaning or interpretation. In the discussion, data are interpreted according to the objectives, the hypothesis (if any), explained why it happened, put forward relationship with the results of previous research, and proposed citation of the appropriate literatures.*
- **CONCLUSIONS:** *The most important results of the research are presented in the conclusions used to answer the objectives, hypotheses and other findings during the study. Conclusion is not a repetition of the abstract, but elaborates of significant research results. The conclusions contain suggestions which are the implications on further research.*
- **TABLES:** *The title of table, column, row, data source and description are written in Indonesian and English (Italic font), short but clear and not bold. The font size of the table title is 10 with spaces 1 and capital letter at the beginning of the sentences. The table is given number according to the description in the text. The use of comma (,) and dot (.) in the table indicate the value of fraction/ decimal and roundness of a thousand. Table descriptions are placed under the table. The table should be in MS Word format. Tables can be uploaded using a separate file (supplementary materials) by giving mark table positions on the manuscript. Table does not use vertical lines. The horizontal line lies in the top column heading, subheadings and at the end of the table (the closing table). If the table is cut off due to page changes, the header is displayed again on the next page. The table should mention its source. If the table is the result of primary data analysis, then it can be written as a data analysis and accompanied with the year.*

- **GRAFIK/GAMBAR/FOTO** : Grafik, peta, dan ilustrasi lain yang berupa gambar garis harus kontras, diberi nomor urut. Judul beserta isinya ditulis dalam dua bahasa (Indonesia dan *Inggris dicetak miring*), diberi nomor urut. Judul gambar ditulis dengan ukuran 10 dengan huruf kapital pada awal kalimat. Grafik dapat diunggah secara terpisah (*supplementary materials*) dari file utama (naskah KTI) dalam format *MS Words* dengan memberi tanda posisi grafik pada naskah. Resolusi gambar minimal 300 dpi. Gambar dan judul diletakkan pada posisi tengah/center. Gambar harus mencantumkan sumber. Apabila gambar berasal dari foto koleksi pribadi maka dapat ditulis sebagai koleksi pribadi beserta tahun.
- **GRAPHS/FIGURES/PHOTOS**: *Graphs, maps and other illustrations in line drawings should be in contrasted, numbered sequentially. Title and contents are written in two languages, Indonesian and English (in italic), numbered sequentially with its explanatory. The title is in font size 10 with capital letter at the beginning of the sentences. Graphs can be uploaded separately (supplementary materials) from the main file (KTI manuscript) in MS word format by giving mark the chart position in the script. Image resolution is at least 300 dpi. The titles and graphs are placed in the center. The image must specify the sources. If the image comes from a private collection, it can be written as a private collection with year.*
- **Rumus** :Rumus ditulis dengan ukuran font 10. Setiap rumus yang ditampilkan harus diberi nomor sesuai urutan dalam naskah. Nomor urut diberi tanda kurung dan berada sejajar dengan rumus yang dihubungkan tanda titik sampai batas kanan naskah.
- **FORMULA**: *Formula is typed in font size 10. Each presented formula should be numbered sequentially in the script. The sequential number is bracketed and parallel to the formula connected with dots to the right margin of the manuscript.*
- **UCAPAN TERIMA KASIH** : Disarankan menyampaikan ucapan terimakasih kepada organisasi atau person yang telah membantu penulis dalam bentuk apapun.
- **ACKNOWLEDGEMENT**: *It is recommended to convey gratitudes to the organization or person who has assisted the author in any form.*
- **DAFTAR PUSTAKA** : Memuat pustaka yang benar-benar dirujuk, dengan demikian pustaka yang dimasukkan pada bagian ini akan ditemukan tertulis pada bagian-bagian sebelumnya. Cara penyitiran dan penulisan daftar pustaka merujuk kepada *The American Psychological Association (APA) style 6<sup>th</sup>*. Untuk mempermudah dan menjaga konsistensi pengutipan serta penulisan daftar pustaka perlu menggunakan aplikasi yang dapat diunduh secara gratis seperti Mendeley (<https://www.mendeley.com/download-mendeley-desktop/>). Daftar pustaka disusun menurut abjad nama pengarang, 80% dari pustaka merupakan terbitan 5 tahun terakhir dan 80% berasal dari sumber acuan primer, kecuali buku teks ilmu-ilmu tertentu.
- **REFERENCES**: *It contains all references that are actually referred to. Thus the references included in this section will be found written in the previous sections. The way to edit and write a bibliography refers to The American Psychological Association (APA) style 6th. To make it easier and keep consistency of citation and bibliography writing, it is necessary to use free downloadable applications such as Mendeley (<https://www.mendeley.com/download-mendeley-desktop/>). The references are arranged according to author's name alphabet. Eighty % of the literature is published in the last 5 years and 80% comes from primary reference sources, except for textbooks of certain sciences.*

P-ISSN : 2579-6097



9 772579 609007