

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

P-ISSN : 2579-6097

E-ISSN : 2579-5511



Journal of Watershed Management Research

Vol. 9 No. 1, 2025

PEMODELAN HIDROGRAF UNTUK MENILAI PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN SUNGAI DI SUB-DAS TANRALILI, SULAWESI SELATAN

(Hydrograph Modeling to Assess the Impact of Land Use Changes on River Flow Characteristics in the Tanralili Sub-Watershed, South Sulawesi)

Sartika Laban, Hazairin Zubair, Fajar Nugraha, Nurul Fajeriana

MIKROHABITAT TUMBUHAN ENDEMIK *Cyrtandra polyneura* DI HUTAN GANDANG DEWATA UNTUK BUDIDAYA BERBASIS AGROFORESTRI

*(Microhabitat of the Endemic Plant *Cyrtandra polyneura* in the Gandang Dewata Forest for Agroforestry-Based Cultivation)*

Wahyullah, Nurmuliayanti Muis, A. Baso Manguntungi, Irlan, Andi Asikin Muchtar, dan Ummu Kulsum

MODEL 3D SEBARAN AKUIFER DI GEOWISATA DANAU DENDAM TAK SUDAH KOTA BENGKULU MENGGUNAKAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING

(3d Model of Aquifer Layer Distribution Around Lake Dendam Nature Park Of Bengkulu City Using Schlumberger Configuration Geoelectric Method)

Intan Gayatriani, Suhendra, Refrizon, Halaududin, U.Gumanty, Sendiya Verentina, dan Marven Saputra

STRATEGI PENGELOLAAN AGROFORESTRI DUSUNG BERKELANJUTAN DI DAS WAI BATU GAJAH:

PENDEKATAN BERBASIS SWOT

(Sustainable Dusung Agroforestry Management Strategy in the Wai Batu Gajah Watershed: A SWOT-Based Approach)

Angela Martha Rettob, Regan Leonardus Kaswanto, dan Efi Yulianti Yovi

ANALISIS DEBIT ANDALAN DAN KEBIJAKAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGKULU UNTUK KETERSEDIAAN AIR BAKU DI KOTA BENGKULU

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

Idham Khalik, Asep Sapei, Sigid Hariyadi, dan Elisa Anggraeni

PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KOEFISIEN DAN VOLUME LIMPASAN BANJIR DI DAS KEUREUTO, PROVINSI ACEH

(Land-Use Changes and Their Impact on Runoff Coefficient and Flood Volume in the Keureuto Watershed, Aceh Province)

Cut Nofita, Cut Azizah, Halus Satriawan, Ridwan Iriadi, Sarif Robo, dan Misnawati

Diterbitkan oleh :

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

Jl. Gunung Batu No 5 Bogor

E-mail: sekred.jpndas@gmail.com;

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

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 2023 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

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

Volume 9, Nomor 1, 2025

JPPDAS

Jurnal Penelitian
Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Journal of Watershed Management Research

P-ISSN: 2579-6097

E-ISSN: 2579-5511

Copy Editor

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

Pengelolaan DAS, Konservasi
Tanah dan Air, Kebencanaan

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

Konservasi dan Pengaruh Hutan

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



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

Diterbitkan di Bogor, Indonesia

© 2025 Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI)

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	UGM; Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia (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
Ary Widiyanto, S. Hut., M.Eng., M.P.P. (Scopus ID: 57226365246)	Kebijakan Publik, Agroforestry	Pusat Riset Kependudukan, BRIN
Dwi Priyo Ariyanto S.P., M.Sc., Ph.D. (Scopus ID: 57214875170)	Soil Science	Universitas Sebelas Maret (UNS)
Dr. Siswo S.P., M.Sc.For (Scopus ID: 572094566980)	Forest Environment and Ecology	Balai Perhutanan Sosial Yogyakarta, Kementerian Kehutanan
Dr. Margaretha Widyastuti, M.T. (Scopus ID: 57214875170)	Hidrologi. Karst Hydrology	Universitas Gadjah Mada (UGM)
Dr. Ahmad Cahyadi, S.Si., M. Sc (Scopus ID: 55979018700)	Hidrologi, Geomorfologi	Universitas Gadjah Mada (UGM)
Prof. Dr. Juandi M., M.Si. (Scopus: 57195382577)	Hidrologi, Ground Water	Universitas Riau



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

Diterbitkan di Bogor, Indonesia

©2025 Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI)

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 9 Nomor 1, 2025.

1. Dr. Ryke Nandini, S.Si., M. Si
2. Dr. Ogi Setiawan, S. Hut., M. Sc
3. Dr. Yonky Indrajaya, S. Hut., M.T., M. Sc
4. Dr. Siswo S.P., M.Sc. For
5. Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si., M. Sc. Tech
6. Prof. Dr. Juandi M., M.Si.
7. Dr. Tri Sulistyati Widyaningsih, S. Sos., M.Sc
8. Dr. S. Andy Cahyono, S.P., M.Si
9. Dr. Agung Budi Supangat, S.Hut., M.T., M.Si.
10. Dr. Ir. Nining Wahyuningrum, M.Sc.

DAFTAR ISI (CONTENTS)

Judul	Halaman
PEMODELAN HIDROGRAF UNTUK MENILAI PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN SUNGAI DI SUB-DAS TANRALILI, SULAWESI SELATAN <i>(Hydrograph Modeling to Assess the Impact of Land Use Changes on River Flow Characteristics in the Tanralili Sub-Watershed, South Sulawesi)</i> Sartika Laban, Hazairin Zubair, Fajar Nugraha, dan Nurul Fajeriana _____	1-22
MIKROHABITAT TUMBUHAN ENDEMIK <i>Cyrtandra polyneura</i> DI HUTAN GANDANG DEWATA UNTUK BUDIDAYA BERBASIS AGROFORESTRI <i>(Microhabitat of the Endemic Plant Cyrtandra polyneura in the Gandang Dewata Forest for Agroforestry-Based Cultivation)</i> Wahyullah Wahyullah, Nurmuliayanti Muis, A. Baso Manguntungi, Irlan Irlan, Andi Asikin Muchtar, dan Ummu Kulsum _____	23-36
MODEL 3D SEBARAN AKUIFER DI GEOWISATA DANAU DENDAM TAK SUDAH KOTA BENGKULU MENGGUNAKAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING <i>(3d Model of Aquifer Layer Distribution Around Lake Dendam Nature Park Of Bengkulu City Using Schlumberger Configuration Geoelectric Method)</i> Intan Gayatriani, Suhendra, Refrizon, Halauddin, Usman Gumanty, Sendiya Verentina, dan Marven Saputra _____	37-54
STRATEGI PENGELOLAAN AGROFORESTRI DUSUNG BERKELANJUTAN DI DAS WAI BATU GAJAH: PENDEKATAN BERBASIS SWOT <i>(Sustainable Dusung Agroforestry Management Strategy in the Wai Batu Gajah Watershed: A SWOT-Based Approach)</i> Angela Martha Rettob, Regan Leonardus Kaswanto, dan Efi Yuliati Yovi _____	55-78
ANALISIS DEBIT ANDALAN DAN KEBIJAKAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGKULU UNTUK KETERSEDIAAN AIR BAKU DI KOTA BENGKULU <i>(Analysis of Dependable Discharge and Management Policy of Bengkulu Watershed for Raw Water Availability in Bengkulu City)</i> Idham Khalik, Asep Sapei, Sigid Hariyadi, dan Elisa Anggraeni _____	79-104
PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KOEFISIEN DAN VOLUME LIMPASAN BANJIR DI DAS KEUREUTO, PROVINSI ACEH <i>(Land-Use Changes and Their Impact on Runoff Coefficient and Flood Volume in the Keureuto Watershed, Aceh Province)</i> Cut Nofita, Cut Azizah, Halus Satriawan, Ridwan Iriadi, Sarif Robo, dan Misnawati ____	105-120

JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)	
ABSTRAK	
P-ISSN : 2579-6097 E-ISSN : 2579-5511	Vol. 9 No. 1, 2025
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
Sartika Laban¹, Hazairin Zubair¹, Fajar Nugraha², Nurul Fajeriana³ ¹<i>Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin,</i> ²<i>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor</i> ³<i>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sorong.</i> PEMODELAN HIDROGRAF UNTUK MENILAI PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN SUNGAI DI SUB-DAS TANRALILI, SULAWESI SELATAN Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 9 No. 1, 2025, p. 1 - 22 Sub-DAS Tanralili merupakan bagian dari DAS Maros di Sulawesi Selatan yang memiliki fungsi ekosistem yang penting, namun mengalami penurunan kualitas akibat perubahan tutupan lahan seperti deforestasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik fisik wilayah sub-DAS Tanralili yang memengaruhi variabilitas komponen aliran sungai, menganalisis perubahan tutupan lahan, menghitung besaran komponen aliran, serta mengevaluasi dampak perubahan tutupan lahan dengan respon hidrologis sub-DAS. Data yang digunakan meliputi tutupan lahan (tahun 2011 dan 2022), curah hujan, tinggi muka air sungai masing-masing tahun 2011 dan 2022, serta jenis tanah. Metode hidrograf straight line digunakan untuk menganalisis komponen aliran sungai, yaitu aliran permukaan, aliran lateral, dan aliran dasar. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan aliran permukaan sebesar 85,43% dan penurunan aliran dasar sebesar 65,12%. Perubahan ini terkait dengan konversi hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman serta variasi curah hujan yang memengaruhi respon hidrologi DAS. Perubahan ini meningkatkan potensi risiko banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Oleh karena itu, pentingnya konservasi kawasan hulu dan pengendalian alih fungsi lahan sebagai bagian dari strategi mitigasi risiko hidrologi dan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan di sub-DAS Tanralili. Walaupun penelitian ini mengindikasikan bahwa pendekatan hidrograf dapat digunakan dalam mendeteksi dampak perubahan lahan terhadap dinamika aliran sungai namun penelitian lanjutan perlu melakukan analisis statistik untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi perubahan aliran Sungai. Kata kunci: <i>aliran dasar; aliran lateral; aliran permukaan; citra landsat; deforestasi</i>	
Wahyullah¹, Nurmuliayanti Muis², A. Baso Manguntungi², Irlan³, Andi Asikin Muchtar¹, dan Ummu Kulsum¹ ¹<i>Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Indonesia Timur</i> ²<i>Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Sulawesi Barat</i> ³<i>Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Sulawesi Barat</i> MIKROHABITAT TUMBUHAN ENDEMIK <i>Cyrtandra polyneura</i> DI HUTAN GANDANG DEWATA UNTUK BUDIDAYA BERBASIS AGROFORESTRI Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 9 No. 1, 2025, p. 23 - 36 Tumbuhan Sandaniki (<i>Cyrtandra polyneura</i>) termasuk tumbuhan endemik di kawasan hutan Gandang Dewata, Sulawesi Barat. Eksploitasi berlebihan di habitat alaminya dapat menimbulkan kekhawatiran terhadap kelestariannya. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik mikrohabitat dan menganalisis hubungan antara faktor-faktor lingkungan dengan pertumbuhan <i>C. polyneura</i>. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk mendukung kegiatan budidaya pada lahan milik masyarakat dengan konsep agroforestri. Data dikumpulkan melalui observasi langsung pada 25 plot pengamatan di hutan Gandang Dewata. Parameter yang diamati meliputi populasi <i>C. polyneura</i> sebagai variabel dependen; kelembaban tanah, intensitas cahaya, pH tanah, serta kerapatan tutupan kanopi tajuk sebagai variabel independen. Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode deskriptif dan analisis korelasi Spearman's Rho dengan bantuan perangkat SPSS. Hasil menunjukkan bahwa kelembaban tanah dan kepadatan pohon memiliki korelasi positif yang kuat terhadap populasi <i>C. polyneura</i>. Temuan ini mengindikasikan bahwa <i>C. polyneura</i> dapat dibudidayakan pada sistem agroforestri pada kondisi mikrohabitat yang lembab, teduh, berpohon lebat, dan tanah yang agak asam. Penelitian ini merekomendasikan budidaya adaptif sebagai strategi konservasi dan upaya revitalisasi pangan lokal berbasis agroforestri berdasarkan kearifan suku Mamasa. Kata kunci: <i>agroforestri; Cyrtandra polyneura; Gandang Dewata; mikrohabitat; pangan lokal</i>	

JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)	
ABSTRAK	
P-ISSN : 2579-6097	Vol. 9 No. 1, 2025
E-ISSN : 2579-5511	
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
Intan Gayatriani¹, Suhendra¹, Refrizon¹, Halauddin¹, Usman Gumanty¹, Sendiya Verentina¹, Marven Saputra¹ ¹Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu MODEL 3D SEBARAN AKUIFER DI GEOWISATA DANAU DENDAM TAK SUDAH KOTA BENGKULU MENGGUNAKAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 9 No. 1, 2025, p. 37 – 54 Kota Bengkulu, ibu kota Provinsi Bengkulu memiliki Danau bernama Danau Dendam Tak Sudah (DDTS), yang terletak pada wilayah strategis karena adanya potensi sumber daya air bawah tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran akuifer di sekitar DDTS, di Kelurahan Surabaya, Kecamatan Sungai Serut, Kota Bengkulu melalui metode geofisika Vertical Electrical Sounding (VES) dengan Konfigurasi Schlumberger. Titik pengukuran VES diambil sebanyak 21 titik. Penelitian ini dilakukan di area pemukiman untuk mengetahui apakah akuifer bawah permukaan tersambung / keterkaitan dengan air di DDTS. Akuisisi data menggunakan alat Geolistrik MAE X612-EM VHR Multi-Channel Resistivitimeter. Hasil akuisisi data di lapangan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Progress, Strater, IP2win dan Surfer. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa nilai resistivitas, kedalaman dan ketebalan bervariasi serta keberadaan lapisan 2 – 5 lapisan sebagaimana struktur geologi dan karakteristik litologi setempat dengan nilai resistivitas 2 – 19 $\Omega.m$ adalah air tanah, nilai resistivitas 19 – 30 $\Omega.m$ lempung serpihan, nilai resistivitas 30 – 70 $\Omega.m$ lempung, nilai resistivitas 70 – 100 $\Omega.m$ top soil (tanah lapisan atas?) dan nilai resistivitas 100 – 150 $\Omega.m$ kerikil pasir. Akuifer dangkal diperkirakan berada pada kedalaman < 20 m, sedangkan akuifer dalam terletak pada > 25 m di bawah permukaan dan memiliki ketebalan 2 sampai 78,5 m. Model 3D sebaran lapisan akuifer yang dihasilkan dapat diketahui sebagai zona yang berpotensi mengandung air tanah. Kata kunci: Akuifer; Danau Dendam Tak Sudah; Resistivitas; Model 3	
Angela Martha Rettob¹, Regan Leonardus Kaswanto², dan Efi Yuliati Yovi³ ¹Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana IPB ²Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB ³Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB STRATEGI PENGELOLAAN AGROFORESTRI DUSUNG BERKELANJUTAN DI DAS WAI BATU GAJAH: PENDEKATAN BERBASIS SWOT Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 9 No. 1, 2025, p. 55 – 78 Sebagai salah satu bentuk agroforestri tradisional, dusung telah memberikan berbagai manfaat dari segi ekologi, ekonomi, dan sosial budaya di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wai Batu Gajah Kota Ambon, Provinsi Maluku. Sistem pengelolaan dusung masih tetap dipertahankan dan menjadi kearifan lokal masyarakat serta memiliki potensi untuk mendukung keberlanjutan ekosistem. Penelitian ini menggunakan pendekatan SWOT untuk menganalisis kondisi internal dan eksternal pengelolaan agroforestri dusung, dan merumuskan strategi prioritas pengelolaan yang berkelanjutan. Penelitian ini dilaksanakan di bagian hulu DAS Wai Batu Gajah pada bulan September hingga Oktober 2024. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah Focus Group Discussion (FGD) dengan melibatkan delapan informan kunci yang mewakili sektor pemerintahan, masyarakat lokal (pemilik dusung), akademisi, dan tokoh agama. Selain itu, dilakukan pula wawancara terstruktur terhadap 30 petani dusung. Analisis strategi dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan matriks IFE, EFE, IE, SWOT dan QSPM. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai bobot faktor internal sebesar 2,874 dan faktor eksternal sebesar 2,831, sehingga hasil penggabungan sumbu xy menempatkan posisi agroforestri dusung berada pada kuadran V, pada tahapan menjaga dan mempertahankan (Hold and Maintain). Strategi prioritas yang diusulkan adalah meningkatkan efektivitas lahan strategis melalui optimalisasi lahan produktif, pemilihan bibit unggul, penggunaan teknologi tepat guna, dan pemberdayaan petani. Implementasi strategi ini membutuhkan kolaborasi antara masyarakat, pemerintah, dan sektor swasta untuk mendukung pengelolaan agroforestri dusung secara berkelanjutan. Penelitian ini memberikan rekomendasi bagi pengembangan kebijakan yang mendukung keberlanjutan ekosistem DAS Wai Batu Gajah dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Kata kunci: agroforestri; dusung; SWOT; DAS Wai Batu Gajah; keberlanjutan	

JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)	
ABSTRAK	
P-ISSN : 2579-6097	Vol. 9 No.1, 2025
E-ISSN : 2579-5511	
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
Idham Khalik¹, Asep Sapei², Sigid Hariyadi³, Elisa Anggraeni⁴ ¹<i>Program Studi Kesehatan Masyarakat, STIKES Tri Mandiri Sakti</i> ²<i>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University</i> ³<i>Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Perikanan dan Kelautan, IPB University</i> ⁴<i>Dapartemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University</i> ANALISIS DEBIT ANDALAN DAN KEBIJAKAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGKULU UNTUK KETERSEDIAAN AIR BAKU DI KOTA BENGKULU Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 9 No. 1, 2025, p. 79–104 Daerah Aliran Sungai (DAS) harus dikelola sebagai satu kesatuan wilayah dari hulu ke hilir dengan mempertimbangkan berbagai aspek geofisik dan sosial ekonomi. Perubahan morfologi DAS merupakan salah satu faktor penting yang dapat memengaruhi sistem hidrologi dan dapat berpengaruh terhadap ketersediaan air suatu wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit andalan Sungai Bengkulu dan menyusun kebijakan pengelolaan DAS Bengkulu secara berkelanjutan. Metode yang digunakan untuk analisis debit andalan adalah kurva durasi aliran distribusi Weibull (probabilitas 90%) dan pemodelan struktural interpretatif (ISM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari tahun 1990 hingga 2020, telah terjadi perubahan penggunaan lahan DAS Bengkulu berupa penurunan luas Hutan Lahan Kering Sekunder sebesar 34,58 km² (7,30%) dan peningkatan luas areal pertambangan sekitar 10,54 km² (2,22%). Debit andalan Sungai Bengkulu (probabilitas 90%) adalah 10,93 m³/dtk atau sekitar 344,69 juta m³. Selain itu, koefisien rezim aliran Sungai Bengkulu cukup fluktuatif dan menunjukkan tren yang meningkat pada beberapa tahun terakhir. Hal ini mengindikasikan bahwa DAS tersebut mengalami degradasi akibat perubahan tutupan lahan dan perubahan iklim global. Beberapa rekomendasi kebijakan yang perlu dilakukan yaitu: integrasi rencana tata ruang dan rencana pengelolaan DAS lintas pemda dan lintas sektor sebagai acuan pengelolaan SDA; melakukan reboisasi atau penghijauan lingkungan untuk mempertahankan kawasan bervegetasi; melakukan penanaman hutan dan tanaman dalam bentuk agroforestry. Kata kunci: debit andalan; hidrologi; Interpretive Structural Modelling/ISM; koefisien rezim aliran; penggunaan lahan	
Cut Nofita, Cut Azizah, Halus Satriawan, Ridwan Iriadi, Sarif Robo, dan Misnawati ¹<i>Prodi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan lingkungan Universitas Almuslim</i> ²<i>Prodi Ilmu Tanah, Universitas Khairun</i> ³<i>Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta</i> PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KOEFISIEN DAN VOLUME LIMPASAN BANJIR DI DAS KEUREUTO, PROVINSI ACEH Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 9 No. 1, 2025, p. 105 – 120 Perubahan penggunaan lahan secara signifikan memengaruhi hidrologi DAS, termasuk meningkatkan limpasan permukaan dan risiko banjir. Penelitian ini menggunakan metode SCS-CN untuk mengevaluasi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap koefisien dan volume limpasan banjir di DAS Keureuto, Provinsi Aceh.. Data penggunaan lahan pada periode 1990, 2000, 2010, dan 2024. Data curah hujan, jenis tanah, dan elevasi digunakan untuk menghitung nilai CN, volume dan koefisien limpasan. Matriks perubahan lahan digunakan untuk mengidentifikasi pola alih fungsi lahan, yang diintegrasikan dalam SIG untuk analisis spasial. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada luas permukiman sebesar 82,9%, lahan terbuka 77,4%, dan belukar 45,2%, sedangkan luas hutan primer dan sekunder menurun masing-masing sebesar 21,1% dan 23,1%. Perubahan ini menyebabkan nilai CN meningkat dari 69,5 pada tahun 1990 menjadi 71,9 pada tahun 2024. Distribusi spasial menunjukkan peningkatan luas wilayah dengan CN menengah (28%) dan CN tinggi (6,5%). Sejalan dengan kenaikan curah hujan sebesar 46,6%, volume limpasan meningkat dari 1.704.979.578 m³ menjadi 2.572.791.394 m³, atau sebesar 46,7%. Secara paralel, koefisien limpasan (C) juga meningkat dari 0,928 menjadi 0,955, menunjukkan penurunan kapasitas infiltrasi akibat alih fungsi lahan. Temuan ini menunjukkan bahwa alih fungsi lahan secara langsung meningkatkan nilai CN dan C, yang berdampak pada peningkatan limpasan permukaan dan risiko banjir di DAS Keureuto. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan tata guna lahan yang berkelanjutan serta strategi mitigasi seperti konservasi hutan dan revegetasi untuk mengendalikan nilai CN dan menurunkan koefisien limpasan. Kata kunci: Bencana; Banjir; hidrometeorologi; Limpasan; Mitigasi	

PEMODELAN HIDROGRAF UNTUK MENILAI PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN SUNGAI DI SUB-DAS TANRALILI, SULAWESI SELATAN

(Hydrograph Modeling to Assess the Impact of Land Use Changes on River Flow Characteristics in the Tanralili Sub-Watershed, South Sulawesi)

Sartika Laban^{1*}, Hazairin Zubair¹, Fajar Nugraha², Nurul Fajeriana³

¹Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10 Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

³Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sorong, Jl. Pendidikan No.27, Kota Sorong 98419, Papua Barat Daya, Indonesia

*Email: ika-l@unhas.ac.id

Diterima: 27 April 2025, Direvisi : 1 Juni 2025, Disetujui : 30 Juni 2025

ABSTRACT

The Tanralili sub-watershed is part of the Maros watershed, located in South Sulawesi, which plays a crucial role in maintaining an important ecosystem function. However, it has experienced a decline in quality due to land cover change, such as deforestation. This study aimed to assess the physical characteristics of the Tanralili sub-watershed area that affect the variability of stream flow components, analyse land cover changes, calculate the magnitude of flow components, and evaluate the impact of land cover change on the hydrological response of the sub-watershed. The data used included land cover, rainfall, river water levels in 2011 and 2022, and soil types. The straight-line hydrograph method was used to analyse the river flow components, namely surface flow, interflow, and base flow. The results showed an increase in surface flow of 85.43% and a decrease in base flow of 65.12%. This change is related to the conversion of forests into agricultural land and settlements, as well as variations in rainfall that affect the watershed's hydrological response. These changes increase the potential risk of flooding during the rainy season and droughts during the dry season. Therefore, the importance of upstream area conservation and land conversion control as part of hydrological risk mitigation strategies and sustainable water resources management in the Tanralili Sub-watershed. Although this study suggests that the hydrograph approach can be used to detect the impact of land use change on river flow dynamics, further research is needed to conduct statistical analyses to determine the factors that influence changes in river flow.

Keywords: surface flow, interflow, base flow, Landsat image, deforestation

ABSTRAK

Sub-DAS Tanralili merupakan bagian dari DAS Maros di Sulawesi Selatan yang memiliki fungsi ekosistem yang penting, namun mengalami penurunan kualitas akibat perubahan tutupan lahan seperti deforestasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik fisik wilayah sub-DAS Tanralili yang memengaruhi variabilitas komponen aliran sungai, menganalisis perubahan tutupan lahan, menghitung besaran komponen aliran, serta mengevaluasi dampak perubahan tutupan lahan dengan respon hidrologis sub-DAS. Data yang digunakan meliputi tutupan lahan (tahun 2011 dan 2022), curah hujan, tinggi muka air sungai masing-masing tahun 2011 dan 2022, serta jenis tanah. Metode hidrograf straight line digunakan untuk menganalisis komponen aliran sungai, yaitu aliran permukaan, aliran lateral, dan aliran dasar. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan aliran permukaan sebesar 85,43% dan penurunan aliran dasar sebesar 65,12%. Perubahan ini terkait dengan konversi hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman serta variasi curah hujan yang memengaruhi respon hidrologi DAS. Perubahan ini meningkatkan potensi risiko banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Oleh karena itu, pentingnya konservasi kawasan hulu dan pengendalian alih fungsi lahan sebagai bagian dari strategi mitigasi risiko hidrologi dan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan di sub-DAS Tanralili. Walaupun penelitian ini mengindikasikan bahwa pendekatan hidrograf dapat digunakan dalam mendeteksi dampak perubahan lahan terhadap dinamika aliran sungai namun penelitian lanjutan perlu melakukan analisis statistik untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi perubahan aliran sungai.

Kata kunci: aliran dasar; aliran lateral; aliran permukaan; citra landsat; deforestasi

I. PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) berfungsi secara vital dalam mengendalikan siklus hidrologi di suatu wilayah. Salah satu DAS yang memiliki fungsi ekosistem yang sangat kompleks di Pulau Sulawesi adalah DAS Maros. Keberadaan karst dan keanekaragaman hayati yang jarang ditemukan menjadikan DAS Maros bernilai ekologi sangat tinggi (Ekasari *et al.*, 2021). Salah satu sub-DAS di DAS Maros, yaitu sub-DAS Tanralili, memiliki peranan yang penting dalam penyediaan air bagi masyarakat di Kabupaten Maros dan Kota Makassar (Syafri *et al.*, 2020). Namun, kualitas sub-DAS Tanralili mengalami

penurunan akibat perubahan tutupan lahan, terutama kehilangan vegetasi hutan atau deforestasi (Marselianti *et al.*, 2023; Surahman *et al.*, 2021; Suryanto *et al.*, 2021). Hal ini menyebabkan peningkatan erosi setiap tahunnya (Suryanto *et al.*, 2021), penurunan air tanah dan berkurangnya kemampuan tanah dalam meresapkan air (Surahman *et al.*, 2021), serta penurunan cadangan karbon (Marselianti *et al.*, 2023) di sub-DAS Tanralili.

Kondisi ini berdampak langsung pada keberlanjutan fungsi Bendung Leko Pancing yang ada dalam wilayah DAS Maros. Di mana keberlanjutan fungsi bendung ini sangat bergantung pada

kestabilan debit air dan kualitas lingkungan di hulu DAS Maros. Bendung Leko Pancing secara geografis terletak pada 5° 8' 20" LS, 119° 38' 29" BT, dan secara administratif berada di Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros. Bendung Leko Pancing memiliki nilai strategis sebagai penyedia air irigasi bagi 3.625 ha sawah pada daerah irigasi Leko Pancing Kabupaten Maros (Suleman & Yusuf, 2019) dan juga sebagai sumber air baku minum bagi masyarakat Kabupaten Maros dan Kota Makassar (Syafri *et al.*, 2020).

Perubahan tutupan lahan adalah proses dinamis yang dipengaruhi oleh fenomena alam dan kegiatan antropogenik (Kumar *et al.*, 2022; Yesuph & Dagnew, 2019). Di antara keduanya, kegiatan antropogenik menjadi faktor utama penyebab perubahan tersebut (Ferreira *et al.*, 2019; Nut *et al.*, 2021). Kegiatan antropogenik umumnya dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pangan, industri (Serrão *et al.*, 2022; Malede *et al.*, 2022) dan berbagai kebutuhan lainnya. Akibatnya, banyak lahan bervegetasi hutan dikonversi menjadi lahan pertanian atau tutupan lahan lainnya (Mathewos *et al.*, 2022).

Perubahan tutupan lahan ini menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, terutama terhadap siklus hidrologi. Dampaknya antara lain peningkatan aliran permukaan (Mekuriaw, 2019; Husaini *et al.*, 2022), penurunan laju infiltrasi dan permukaan air tanah (Dash *et al.*, 2024; Vaillancourt *et al.*, 2019). Jika dibiarkan terus menerus, dampak ini dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan kekeringan (Dwivedi *et al.*, 2005). Perubahan tutupan lahan telah meningkatkan debit sungai yang

berpotensi banjir dan kerusakan infrastruktur pengairan seperti bendung (Dharma *et al.*, 2021). Selain itu, perubahan hutan menjadi lahan kosong atau pemukiman menyebabkan peningkatan debit rencana di DAS Komering dimana nilai koefisien limpasan meningkat dan nilai aliran dasar menurun (Permatasari *et al.*, 2017). Pengurangan lahan bervegetasi lebat, seperti hutan mengurangi kekasaran permukaan tanah, luas area berdaun berdampak pada evapotranspirasi, dan kedalaman perakaran (Gashaw *et al.*, 2018). Perubahan tutupan lahan juga dapat memicu perubahan iklim (Bolan *et al.*, 2024). Gabungan antara perubahan tutupan lahan dan perubahan iklim menjadi faktor utama yang memengaruhi proses hidrologis di suatu DAS (Petrovic, 2021). Menganalisis dampak perubahan tutupan lahan dan perubahan iklim terhadap aliran hidrologi DAS merupakan tantangan besar, mengingat hubungan yang kompleks antara tutupan lahan, iklim, dan hidrologi (Kumar *et al.*, 2022).

Dampak perubahan tutupan lahan terhadap sistem hidrologi DAS secara kuantitatif dapat dipahami melalui pendekatan analisis yang mampu menggambarkan respon DAS terhadap curah hujan (Lee *et al.*, 2023). Salah satu metode yang umum digunakan adalah analisis hidrograf. Analisis ini merepresentasikan besarnya aliran permukaan yang dihasilkan dan memungkinkan memetakan perubahan pola aliran akibat modifikasi tutupan lahan seperti meningkatnya debit puncak (Lestari *et al.*, 2019; Permatasari *et al.*, 2017). Metode ini mampu memberikan gambaran

dinamis tentang respon hidrologi DAS sehingga dapat digunakan sebagai indikator terhadap degradasi lingkungan atau deforestasi (Reddy & Bhavani, 2024). Analisis hidrograf menjadi alat penting dalam menilai konsekuensi ekologi dari perubahan penggunaan lahan terhadap hasil air dan kestabilan debit sungai.

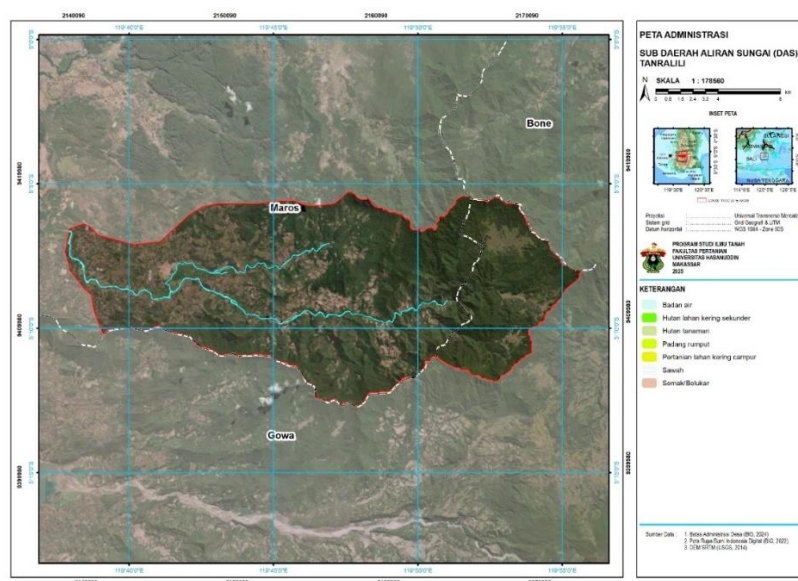
Aliran hidrologi DAS, seperti aliran permukaan (*surface flow*), aliran lateral (*inter flow*) dan aliran dasar (*base flow*), dapat diperoleh dengan memisahkan data debit aliran (Cartwright & Miller, 2021). Adapun teknik yang dapat diterapkan untuk memisahkan komponen aliran sungai dari data debit yakni dengan pemisahan hidrograf menggunakan metode *straight line* (Bosch *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2021). Hidrograf merupakan respons dari daerah tangkapan air terhadap curah hujan, dan terdiri dari ketiga komponen aliran tersebut. Aliran lateral sering dianggap bagian dari aliran permukaan karena responsnya yang cepat. Penelitian ini difokuskan pada identifikasi karakteristik fisik DAS yang berkontribusi

terhadap komponen aliran sungai, menganalisis perubahan penutupan lahan pada tahun 2011 dan 2020, serta mengukur nilai dari setiap komponen aliran sungai. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji dampak perubahan tutupan lahan terhadap komponen aliran sungai di Sub-DAS Tanralili.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Juni 2022, di wilayah sub-DAS Tanralili yang merupakan sub dari DAS Maros. Secara geografis terletak antara $5^{\circ} 4' 28,76''$ - $5^{\circ} 13' 9,21''$ LS dan $119^{\circ} 36' 48,24''$ - $119^{\circ} 56' 26,31$ BT dan secara administratif terletak di Kecamatan Toppobulu Kabupaten Maros dan Kecamatan Tombolopao Kabupaten Gowa (Gambar 1). Sub-DAS Tanralili dengan outlet Bendung Leko Pancing memiliki luas sekitar 28.466,5 ha. Bagian timur di sub-DAS Tanralili adalah dataran tinggi dan bagian barat adalah dataran rendah.



Gambar (Figure) 1. Peta administrasi sub-DAS Tanralili (*Administrative map of the Tanralili sub-watershed*)
Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian pemodelan hidrograf dalam menilai pengaruh penutupan lahan terhadap karakteristik aliran sungai di sub-DAS Tanralili disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

C. Metode Penelitian

1) Membuat peta karakteristik DAS

Salah satu data yang sangat penting untuk menggambarkan karakteristik suatu

DAS yang berguna bagi studi hidrologi adalah data kelas lereng. Pada penelitian ini data kelas lereng diperoleh dari hasil pengolahan data penginderaan jauh yaitu *digital elevation model* (DEM) SRTM. Peta lereng dikelaskan berdasarkan klasifikasi kelas lereng oleh Sukarman *et al.* (2017). Klasifikasi kelas lereng dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya menghitung luas area setiap kelas kemiringan lereng.

Tabel (Table) 1. Alat yang digunakan dalam penelitian pemodelan hidrograf di Sub-DAS Tanralili. (*Tools used in the study of hydrograph modeling*).

No. (Number)	Alat (Equipment)	Kegunaan (Function/Usage)
1	Komputer	Menginput dan mengolah data penelitian
2	Printer	Mencetak dokumen kebutuhan penelitian
3	Microsoft Excel	Analisis data penelitian
4	Perangkat lunak GIS	Analisis spasial dan interpretasi citra
5	GPS	Menentukan titik koordinat di lapangan
6	Kamera	Dokumentasi visual

Tabel (Table) 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian pemodelan hidrograf di sub-DAS Tanralili (*Materials used in the hydrograph modeling study*).

No. (Number)	Bahan (Material)	Sumber (Source)
1	Data curah hujan harian (2011-2020)	BMKG Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin
2	Data tinggi muka air Sungai (2011-2020)	BBWS Jeneberang Saddang
3	Citra Landsat-7	earthexplorer.usgs.gov, 2011-2012
4	Citra Landsat-8 Path 114 dan Row 64	earthexplorer.usgs.gov, 2013-2020
5	Digital Elevation Model SRTM 30 M	earthexplorer.usgs.gov, 2014
6	Peta Rupa Bumi Indonesia 1:50.000	Badan Informasi Geospasial, 2012
7	Batimetri Nasional	Badan Informasi Geospasial, 2018
8	Peta Penutupan Lahan 1:250.000	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, tahun 2011 sampai 2020
-9	Peta Jenis Tanah 1:50.000	Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, 2017

Tabel (Table) 3. Klasifikasi kelas lereng (*Slope Class Classification*)

No. (Number)	Klasifikasi (Classification)	Kemiringan (%) (Slope (%))
1	Datar	0 – 8
2	Landai	8 – 15
3	Agak curam	15 – 25
4	Curam	25 – 45
5	Sangat curam	>45

Sumber (Source): Sukarman *et al.* (2017)

Data jenis tanah juga sangat penting untuk menjelaskan kondisi hidrologi suatu wilayah DAS. Peta jenis tanah yang diperoleh diklasifikasikan pada tingkat sub group menggunakan sistem klasifikasi tanah USDA (*United States Departement of Agriculture*), kemudian di konversi menjadi tingkat *Great Group*. Setelah itu, menghitung luas area setiap jenis tanah.

2) Analisis perubahan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020

Analisis tutupan lahan dilakukan dengan membandingkan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020 yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Sebelum dilakukan analisis tutupan lahan, data tutupan yang telah diperoleh dari KLHK dibandingkan dengan data dari citra satelit pada tahun yang sama. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa data tutupan lahan yang dianalisis memiliki akurasi yang cukup untuk menggambarkan kondisi lahan pada wilayah kajian. Selanjutnya, perubahan tutupan lahan dihitung dengan melakukan tumpang susun antara peta tutupan lahan tahun 2011 dengan peta tahun 2022. Selanjutnya diolah menggunakan matrik pivot tabel pada microsoft excel. Persentase perubahan tutupan lahan dihitung menggunakan persamaan 1 (Kumar *et al.*, 2022):

$$\Delta H = \left(\frac{Lu_1 - Lu_0}{Lu_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Keterangan (*Remarks*):

ΔH = Persentase perubahan tutupan lahan (%)

Lu_1 = waktu akhir atau waktu setelah perubahan tutupan lahan (tahun)

Lu_0 = waktu awal atau waktu sebelum perubahan tutupan lahan (tahun)

3) Pemisahan komponen aliran sungai dari data debit

Langkah pertama dalam pemisahan komponen aliran sungai yaitu mengubah nilai tinggi muka air menjadi nilai debit dengan menggunakan persamaan *rating curve* (Negatu *et al.*, 2022):

$$Q = a (H - H_0)^b \quad (2)$$

Keterangan (*Remaks*):

Q = Debit (m^3/det)

a, b = Konstanta

H = Tinggi muka air (mm)

H_0 = Tinggi muka air pada aliran nol ($Q = 0$)

Pada saat menghitung nilai debit, komponen aliran sungai seperti aliran permukaan atau aliran cepat yang juga memuat aliran lateral dan aliran dasar dipisahkan dengan menggunakan metode *straight line method* (Pelletier & Andréassian, 2020). Metode ini memisahkan aliran dengan menghubungkan dengan garis lurus pada

saat awal limpasan ke titik resesi. Aliran permukaan dan aliran lateral berada di atas garis putus-putus tersebut, sedangkan aliran dasar berada dibagian bawah garis putus-putus (Gambar 2) (Bosch *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2021; Subramanya, 2008). Metode ini tergolong sangat sederhana dan dapat memisahkan komponen aliran sungai dengan cepat (Casado-Rodríguez & Del Jesus, 2022). Namun metode ini memiliki ketidakpastian dalam penentuan komponen aliran sungai (Villalba-Barrios *et al.*, 2023), karena *base flow* tidak selalu mengikuti kurva resesi (Aksoy *et al.*, 2009). Setelah memperoleh nilai setiap komponen aliran sungai, selanjutnya menghitung rata-rata setiap komponen aliran sungai tersebut.

4) Menilai dampak perubahan tutupan lahan terhadap komponen sungai

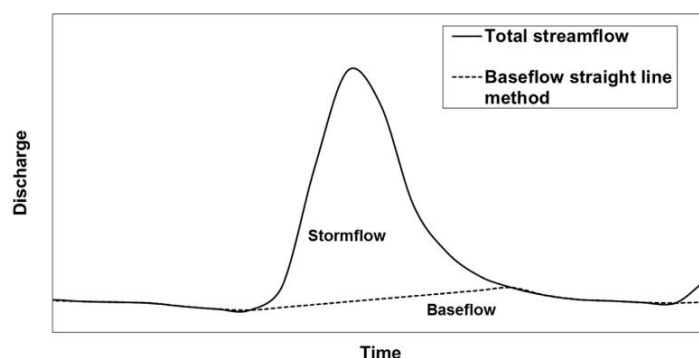
Dampak perubahan tutupan lahan terhadap komponen aliran sungai, seperti aliran permukaan, aliran lateral, dan aliran dasar dilakukan melalui pendekatan

deskriptif dan kuantitatif. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi dan mengukur pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap masing-masing komponen aliran sungai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

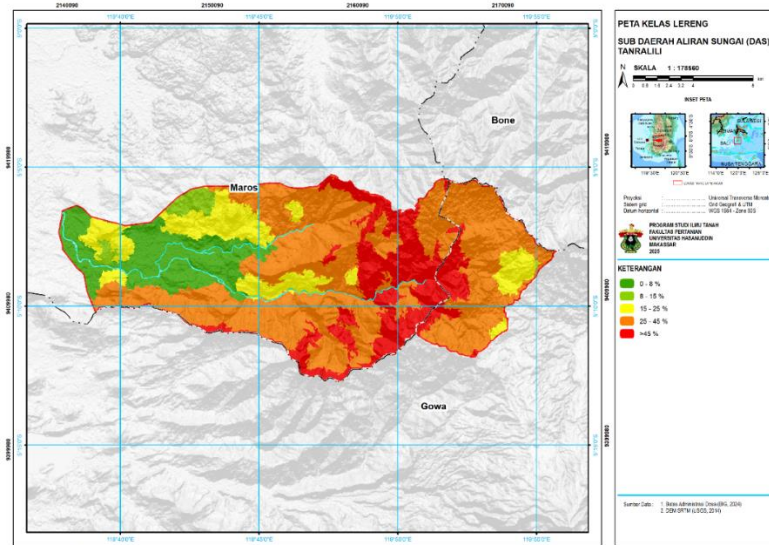
Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang dianalisis yaitu kelas lereng dan jenis tanah. Kelas lereng di sub-DAS Tanralili didominasi oleh lereng dengan klasifikasi curam seluas 13.359,5 ha (47,36%), kemudian diikuti kelas lereng sangat curam (>45%) seluas 4.901,6 ha (17,37%). Adapun kelas lereng yang memiliki luas sangat kecil yaitu lereng dengan kelas landai, memiliki luas area sekitar 1398.6 ha (4.96%). Kelas lereng curam dan sangat curam mendominasi di bagian tengah dan timur di sub-DAS Tanralili, sedangkan pada bagian ujung di bagian barat didominasi oleh lereng dengan kelas datar. Peta kelas lereng dapat dilihat pada Gambar 3 dan luasnya dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar (Figure) 2. Ilustrasi teknik pemisahan komponen aliran sungai menggunakan metode *straight line method* (Illustration of the river flow component separation technique using the straight line method)

Sumber (Source): Bosch *et al.* (2017)



Gambar (Figure) 3. Peta kelas lereng sub-DAS Tanralili (*Slope class map of the Tanralili sub-watershed*)
Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

Tabel (Table) 4. Distribusi kelas kemiringan lereng di Sub-DAS Tanralili (*Slope class distribution in the Tanralili sub-watershed*).

No. (Number)	Klasifikasi (Classification)	Kemiringan (%) (Slope (%))	Luas (Area)	
			ha	%
1.	Datar	0 – 8	4.254,0	15,08
2.	Landai	8 – 15	1.398,6	4,96
3.	Agak curam	15 - 25	4.297,6	15,23
4.	Curam	25 - 45	13.359,5	47,36
5.	Sangat curam	>45	4.901,6	17,37

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

Kemiringan lereng sangat menentukan kecepatan aliran dan waktu terjadinya infiltrasi. Lereng yang datar cenderung memiliki aliran yang lambat dan memberikan waktu agar terjadi proses infiltrasi, sedangkan pada lereng curam aliran terjadi dengan cepat dan sulit terjadi infiltrasi karena aliran yang cepat tersebut. Hal tersebut sangat menentukan nilai aliran permukaan dan aliran dasar yang berpengaruh terhadap grafik hidrograf. Bentuk hidrograf dipengaruhi oleh faktor karakteristik DAS, seperti kondisi lereng, geologi dan geomorfologi (Fischer *et al.*, 2021; Naik *et al.*, 2024). Selain itu kemiringan lereng juga turut berperan

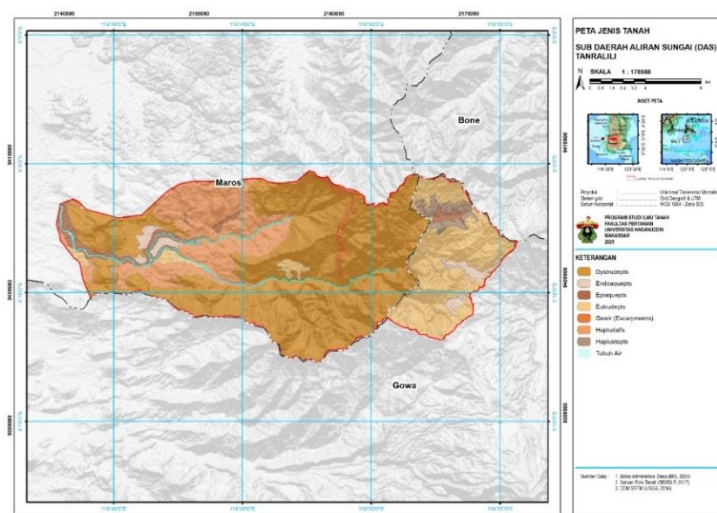
dalam kejadian meningkatkan resiko bahaya banjir karena berpotensi menyebabkan longsor.

Kondisi lereng di sub-DAS Tanralili yang didominasi oleh lereng curam dan sangat curam, menjadi indikasi bahwa sangat perlu untuk pengelolaan sumberdaya lahan. Pada lereng yang curam dan sangat curam, jika tidak dikelola secara baik maka mungkin dapat mengakibatkan bencana seperti banjir dan longsor karena tingginya nilai aliran permukaan. Namun lereng bukan menjadi satu-satunya faktor yang dapat memengaruhi tingginya nilai aliran permukaan, terdapat faktor lain seperti tanah dan tutupan vegetasi.

Jenis tanah disajikan dalam tingkatan *great group*, untuk memudahkan dalam mengetahui karakteristik tanah. Jenis tanah di Sub-DAS Tanralili terdiri dari 6 *great group*, diantaranya *dystrudepts*, *endoaquepts*, *epiaquepts*, *eutrudepts*, *haplustepts*, dan *hapludalFs*. *Great group Dystrudepts* mendominasi jenis tanah di sub-DAS dengan luas sekitar 15.630,5 ha (54,91%), diikuti oleh *Eutrudepts* seluas 5.148,9 ha (18,09%) dan *HapludalFs* seluas 5.121,9 ha (18,03%). Dua jenis tanah pertama termasuk dalam ordo *Inseptisols*, sedangkan *HapludalFs* termasuk dalam ordo *Alfisols*. Jenis tanah yang memiliki luas paling kecil adalah *haplustepts* dengan luas area sekitar 472,1 ha (1,66%). Peta jenis tanah disajikan pada Gambar 4 dan

informasi luasan masing-masing jenis tanah terdapat pada Tabel 5.

Karakteristik DAS yang sangat berpengaruh terhadap debit aliran sungai dan komponennya adalah lereng dan tanah (Fischer *et al.*, 2021; Naik *et al.*, 2024). Lereng sangat erat kaitannya dengan kecepatan aliran, lereng yang datar cenderung menyebabkan aliran air yang lambat, sehingga memberikan waktu yang cukup bagi proses infiltrasi untuk berlangsung. Sebaliknya, pada lereng yang curam, aliran air berlangsung dengan cepat sehingga proses infiltrasi menjadi sulit terjadi. Kondisi ini sangat menentukan besarnya aliran permukaan dan aliran dasar yang pada akhirnya memengaruhi bentuk grafik hidrograf sungai.



Gambar (Figure) 4. Peta jenis tanah sub-DAS Tanralili (Soil type map of the Tanralili sub-watershed)
Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Tabel (Table) 5. Sebaran jenis tanah di sub-DAS Tanralili (Soil type distribution in the Tanralili sub-watershed)

No. (Number)	Great Group (Great Group)	Luas (Area)	
		ha	%
1.	<i>Dystrudepts</i>	15630.5	54.91
2.	<i>Endoaquepts</i>	672.8	2.36
3.	<i>Epiaquepts</i>	1038.8	3.65
4.	<i>Eutrudepts</i>	5148.9	18.09
5.	<i>Haplustepts</i>	472.1	1.66
6.	<i>HapludalFs</i>	5131.9	18.03

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Area sub-DAS Tanralili yang didominasi oleh lereng curam dan sangat curam diperlukan penerapan manajemen konservasi lahan yang tepat dan terpadu. Manajemen ini mencakup pengendalian erosi, pengelolaan vegetasi penutup tanah, serta penerapan teknik konservasi tanah seperti terasering dan penanaman vegetasi penahan lereng. Jika tidak dikelola dengan baik, kondisi lereng yang curam ini dapat meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor akibat tingginya nilai aliran permukaan. Namun demikian, lereng bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi besarnya aliran permukaan. Faktor lain seperti karakteristik tanah, jenis dan kondisi tutupan vegetasi, serta pola tutupan lahan juga berperan penting dalam menentukan besarnya aliran permukaan dan risiko bencana. Oleh karena itu, manajemen yang efektif harus mempertimbangkan seluruh faktor tersebut secara holistik guna mengurangi risiko bencana sekaligus menjaga fungsi hidrologis sub-DAS Tanralili secara berkelanjutan.

Tanah berpengaruh terhadap tingkat infiltrasi. Tanah di sub-DAS Tanralili didominasi oleh sub ordo *dystrudepts*, *eutrudepts*, dan *hapludalfs*. Tanah-tanah tersebut memiliki tekstur sedang hingga agak halus. Berdasarkan penelitian Kholis & Rendra (2022), potensi infiltrasi pada tanah *dystrudepts* dan *eutrudepts* tergolong sedang dan pada tanah *hapludalfs* termasuk ke dalam kelas agak lambat. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan tekstur diantara kedua tanah tersebut. Dimana tanah *dystrudepts*, *eutrudepts*

memiliki tekstur tanah lempung liat berdebu dengan laju infiltrasi agak lambat hingga sedang, dan tanah *hapludalfs* bertekstur halus atau berliat.

Tekstur tanah sangat memengaruhi tingkat risiko banjir. Tanah berpasir menghasilkan infiltrasi yang tinggi dan memungkinkan air lebih cepat meresap dibandingkan tekstur tanah lainnya. Tanah berpasir memiliki partikel tanah dan pori-pori tanah yang besar, sehingga mampu menyerap air lebih cepat dan limpasan air yang terjadi kecil. Sedangkan tanah berliat, selain memiliki partikel yang halus, juga kurang permeabel yang berakibat pada daya serap tanah yang lebih sedikit dan limpasan air yang besar, sehingga mengakumulasi air dalam waktu yang lebih lama (Fajeriana & Risal, 2023). Tipe tanah ini menahan laju infiltrasi air sehingga implikasinya adalah bahwa tanah ini rentan dan berisiko banjir (Naik *et al.*, 2024).

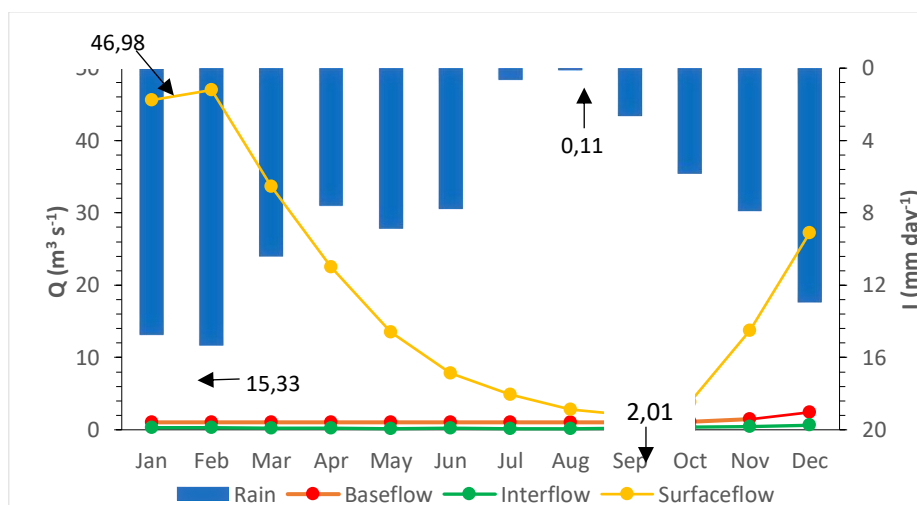
Debit aliran sungai dan hubungannya dengan curah hujan

Faktor yang memengaruhi nilai komponen aliran sungai tidak hanya dari faktor fisik saja seperti kelas lereng, jenis tanah, dan tutupan lahan, tetapi juga faktor iklim seperti curah hujan berpengaruh secara signifikan. Hubungan antara curah hujan dan komponen aliran sungai dapat diketahui dengan membandingkan kedua nilai tersebut. Berdasarkan hasil rata-rata bulanan antara tahun 2011 hingga 2020, curah hujan dan aliran permukaan tertinggi terjadi pada bulan Februari dengan curah hujan sebesar 15,33 mm hari⁻¹ dan aliran permukaan sebesar 46,98 m³ s⁻¹. Curah hujan terendah

terjadi pada bulan Agustus dengan intensitas $0,11 \text{ mm hari}^{-1}$ sementara aliran permukaan terendah terjadi pada bulan September sebesar $2,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Perbandingan curah hujan dan komponen aliran sungai dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada tahun 2011 – 2020, curah hujan rata-rata harian tertinggi terjadi pada bulan Februari sedangkan yang terendah terjadi pada bulan Agustus, yaitu masing-masing $15,33 \text{ mm}$ dan $0,11 \text{ mm}$. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa, curah hujan memainkan peranan penting dalam menentukan nilai komponen aliran sungai, khususnya aliran permukaan. Nilai aliran permukaan akan mengalami penurunan apabila curah hujan juga mengalami penurunan, begitu sebaliknya. Kondisi tersebut konsisten dengan pandangan yang dikemukakan oleh Kumar *et al.* (2023) yang menyebutkan bahwa tutupan lahan dan variabilitas iklim mempengaruhi respon hidrologi dan menyebabkan fluktuasi pada berbagai proses hidrologi terutama pada aliran sungai.

Rata-rata curah hujan yang terendah terjadi pada bulan Agustus ($0,11 \text{ mm d}^{-1}$) dan aliran permukaan yang terendah terjadi pada bulan September ($2,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Perbedaan tersebut disebabkan oleh keberadaan aliran dasar yang tetap mengalir ke sungai pada bulan Agustus sehingga pada bulan ini aliran sungai masih tetap berlangsung. Kemudian pada bulan September curah hujan mulai mengalami peningkatan yang mana curah hujan ini akan mengisi kekosongan air yang ada di dalam tanah akibat adanya aliran dasar pada bulan sebelumnya. Menurut Aboelnour *et al.* (2021), aliran dasar merupakan bagian dari aliran sungai yang bersumber dari air tanah dan berbagai sumber air lainnya yang masuk ke sungai dengan jeda waktu tertentu. Aliran dasar ini berperan penting dalam mempertahankan kontinuitas aliran di sungai utama maupun anak sungai, serta kerap diasosiasikan dengan proses pengisian ulang air tanah selama periode musim kemarau.



Gambar (Figure) 6. Rata-rata bulanan komponen aliran sungai dengan rata-rata curah hujan harian selama 10 tahun (2011-2020) (The monthly average of river flow components with the average daily rainfall over 10 Years (2011–2020))

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

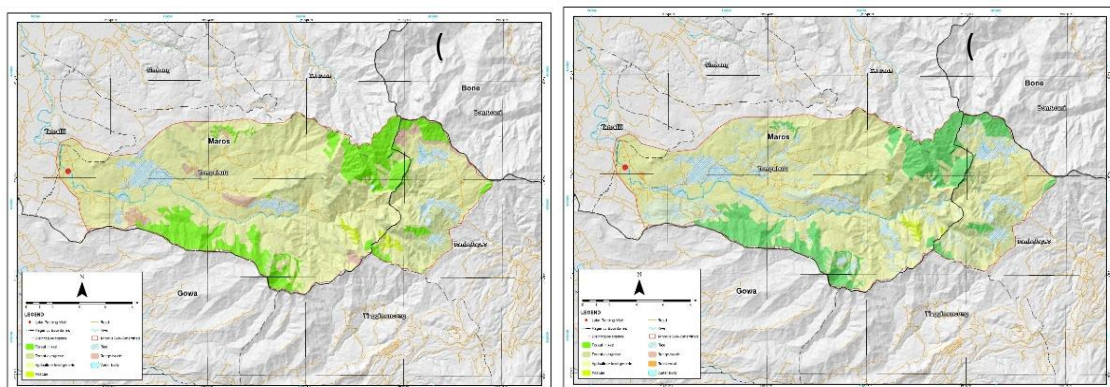
Analisis perubahan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020 di Sub-DAS Tanralili

Hasil analisis peta tutupan lahan pada tahun 2011 dan 2020 (Gambar 5) menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan yang cukup signifikan pada berbagai kategori tutupan lahan di sub-DAS Tanralili. Berdasarkan Tabel 6, perubahan paling mencolok terjadi pada lahan sawah yang mengalami peningkatan luas sebesar 1.349,5 ha atau setara dengan 80%. Kenaikan ini diduga berkaitan dengan alih fungsi dari kategori pertanian lahan kering yang justru mengalami penurunan luas sebesar 1.280,5 ha (6,60%). Selain itu, kawasan permukiman yang sebelumnya tidak teridentifikasi pada tahun 2011, mulai muncul pada tahun 2020 dengan luas 55,7 ha (0,20%). Hal ini mencerminkan adanya peningkatan pembangunan atau ekspansi lahan terbangun di wilayah sub-DAS.

Kategori tubuh air juga mengalami peningkatan cukup besar, yakni sebesar 138,6 ha (191,17%). Hal ini dapat diartikan sebagai adanya penambahan genangan atau perluasan badan air, baik alami maupun buatan. Di sisi lain, beberapa

kategori vegetasi alami mengalami penyusutan. Hutan lahan kering berkurang sebesar 84,2 ha (1,91%), hutan tanaman menurun 170,2 ha (9,14%), dan padang rumput mengalami penurunan yang paling besar secara persentase yakni sebesar 103,7 ha atau 46,48%. Sementara itu, semak belukar mengalami peningkatan seluas 94,6 ha (11,71%) yang kemungkinan merupakan bentuk regenerasi vegetasi sekunder atau hasil dari lahan tidak aktif yang mengalami pertumbuhan alami kembali. Secara keseluruhan, perubahan ini mengindikasikan adanya tekanan terhadap lahan pertanian dan vegetasi alami. Hal tersebut dapat berdampak langsung pada kondisi hidrologis Sub-DAS, terutama dalam kaitannya dengan aliran permukaan, infiltrasi, dan potensi banjir di wilayah hilir.

Peningkatan tubuh air yang sangat tinggi dapat disebabkan oleh badan sungai yang mengalami pelebaran dari tahun 2011 hingga tahun 2020. Pelebaran badan sungai dapat disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya aliran sungai yang cepat dan aktifitas manusia. Aliran sungai yang cepat berpotensi menyebabkan erosi tebing sungai (Murniningsih, 2018).



Gambar (Figure) 5. Peta tutupan lahan Sub-DAS Tanralili tahun (a) 2011; (b) 2020 (*Land cover map of the Tanralili sub-watershed in (a) 2011; (b) 2020*)

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

Tabel (Table) 6. Luas perubahan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020 di Sub-DAS Tanralili (Land cover change area in 2011 and 2020 in the Tanralili sub-watershed).

Tutupan lahan (Land cover)	Luas tahun 2011 (Area in 2011)		Luas tahun 2020 (Area in 2020)		Luas Perubahan (Area change)	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Hutan lahan kering	4413	15.50	4328.8	15.21	-84.2	-1.91
Hutan tanaman	1862.8	6.54	1692.6	5.95	-170.2	-9.14
Semak belukar	807.8	2.84	902.4	3.17	94.6	11.71
Padang rumput	223.1	0.78	119.4	0.42	-103.7	-46.48
Pertanian lahan kering	19400.5	68.15	18120	63.65	-1280.5	-6.60
Sawah	1686.9	5.93	3036.4	10.67	1349.5	80.00
Permukiman	0	0	55.7	0.20	55.7	
Tubuh air	72.5	0.25	211.1	0.74	138.6	191.17
Total	28466.5	100	28466.5	100		

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Selain faktor perubahan aktual di lapangan, peningkatan luasan badan air yang teridentifikasi pada tahun 2020 juga kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan jenis citra satelit yang digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan. Data tutupan lahan tahun 2011 menggunakan hasil analisis citra Landsat 7 ETM+, sementara data tahun 2020 menggunakan hasil analisis citra Landsat 8 OLI. Kedua sensor ini memiliki perbedaan karakteristik, terutama pada resolusi radiometrik dimana Landsat 8 memiliki kemampuan deteksi yang lebih tinggi (17 bit) dibandingkan Landsat 7 (8 bit) (Irons *et al.*, 2012). Citra satelit yang memiliki resolusi radiometrik yang lebih tinggi memiliki heterogenitas yang lebih kompleks dibandingkan dengan citra satelit dengan resolusi radiometrik yang lebih rendah (You *et al.*, 2022) sehingga citra Landsat 8 dapat menangkap variasi yang kecil pada suatu citra, sedangkan citra Landsat 7 cenderung menampilkan visual yang homogen. Perbedaan ini dapat memengaruhi akurasi dalam

mengidentifikasi objek dengan nilai pantulan rendah seperti badan air, sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dipertimbangkan sebagai salah satu faktor non lapangan yang memengaruhi hasil klasifikasi (Ihlen, 2019; Roy *et al.*, 2014)

Perubahan tutupan lahan dapat berpengaruh signifikan terhadap kondisi hidrologi suatu wilayah. Konversi lahan hijau menjadi area terbangun dapat meningkatkan aliran permukaan, dan menurunkan infiltrasi tanah (Pribadi *et al.*, 2020) serta penurunan aliran air tanah (Putra *et al.*, 2024). Perubahan tutupan lahan seperti deforestasi dan urbanisasi menyebabkan peningkatan limpasan permukaan, aliran puncak, dan risiko banjir (Caja *et al.*, 2018; Santillan *et al.*, 2019). Urbanisasi mengubah komponen hidrologi khususnya evapotranspirasi, aliran dasar dan perkolasi di DAS Buyukcekmece di Istanbul (Sertel *et al.*, 2019). Penyebab terjadinya perubahan penggunaan lahan dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti peningkatan jumlah penduduk, peningkatan kebutuhan pangan, dan

kondisi sosial ekonomi. Pernyataan ini sejalan dengan Birhanu *et al.* (2019) yang mengemukakan bahwa perubahan tutupan lahan merupakan hasil dari interaksi antara dinamika sosial-ekonomi, demografi, serta kondisi biofisik. Perubahan tutupan lahan tidak hanya memberikan dampak negatif terhadap komponen-komponen neraca air, tetapi juga dampak positif seperti manfaat sosial dan ekonomi.

Pada sub-DAS Tanralili terjadi penurunan luas pada kategori pertanian lahan kering campuran seluas 1.280,5 ha (6.60%) menjadi sawah dan permukiman, luas areal sawah sendiri mengalami peningkatan menjadi 1.349,5 ha (80%). Perubahan tutupan lahan memengaruhi besarnya aliran permukaan, karena perubahan vegetasi yang terjadi turut mempengaruhi kemampuan infiltrasi tanah (Fajeriana *et al.*, 2024). Selain itu, perubahan lahan hutan menjadi lahan budidaya tanpa adanya tindakan konservasi dapat memperburuk erosi tanah dan lanskap (Han *et al.*, 2020). Peningkatan jumlah penduduk di wilayah DAS menyebabkan perluasan areal pertanian seperti sawah (Chuko & Abdissa, 2023).

Hutan menjadi salah satu penutupan lahan yang berperan penting dalam menjaga kondisi hidrologis. Perubahan lahan hutan menjadi non hutan dapat mengakibatkan tingginya nilai aliran permukaan. Faktor yang mendasari kejadian ini adalah penutupan lahan hutan yang beragam dapat mengintersepsi air hujan lebih baik dibandingkan penutupan lahan lainnya. Hutan sekunder di sub-DAS Tanralili mengalami penurunan luas antara

tahun 2011 hingga 2020, dengan total pengurangan area seluas 84,2 ha (1,91%). Meskipun persentase penurunan ini tergolong kecil namun hal ini menunjukkan adanya indikasi perubahan tutupan lahan yang dapat mencerminkan adanya tekanan penggunaan lahan sehingga berdampak pada fungsi ekosistem DAS. Pernyataan ini sejalan dengan pendapat Yang *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa perubahan penutupan lahan utamanya yang memiliki vegetasi akan mempengaruhi kondisi banjir pada wilayah tersebut baik volume, frekuensi dan debit. Menurut Mekuriaw (2019), perubahan penutupan lahan dari lahan tidak terbangun menjadi lahan terbangun dapat berdampak pada penurunan kapasitas resapan air dan meningkatkan laju aliran permukaan, yang berpotensi menimbulkan banjir, terutama di wilayah hilir.

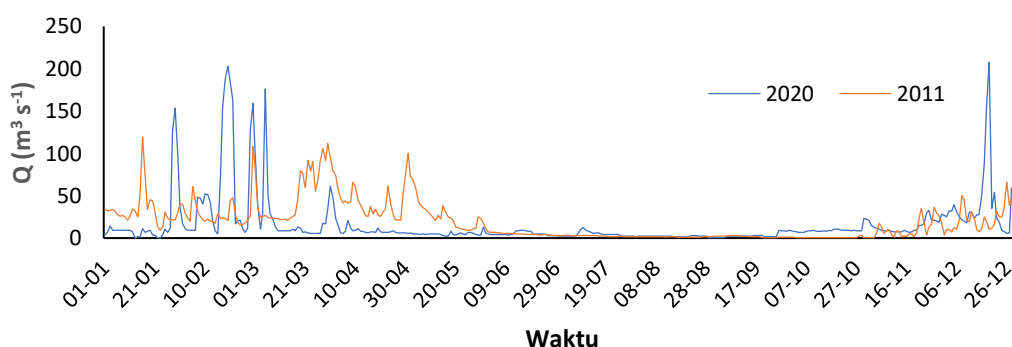
Perubahan nilai rata-rata komponen aliran sungai tahun 2011 dan 2020 di Sub-DAS Tanralili

Debit aliran sungai di sub-DAS Tanralili mengalami peningkatan puncak dari tahun 2011 hingga tahun 2020. Puncak aliran tertinggi pada tahun 2011 yaitu $119,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ yang terjadi pada bulan Januari dan meningkat pada tahun 2020 yaitu $207,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ yang terjadi pada bulan Desember (Gambar 7). Secara total, perubahan aliran rata-rata setiap komponen aliran sungai disajikan pada Tabel 7. Aliran permukaan mengalami peningkatan yang cukup signifikan antara tahun 2011-2020, sedangkan aliran dasar mengalami penurunan yang cukup signifikan. Aliran permukaan mengalami peningkatan sebesar $8,56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (85.43%), sedangkan

aliran dasar mengalami penurunan sebesar $0,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (65.12%). Peningkatan tersebut selain disebabkan oleh adanya perubahan tutupan lahan (Tabel 6), dapat juga disebabkan oleh perubahan curah hujan pada tahun-tahun tersebut (Gambar 8).

Peningkatan nilai aliran permukaan merupakan respon dari aktivitas alam dan

manusia yang terjadi di wilayah tersebut. Sub-DAS Tanralili mengalami peningkatan nilai aliran permukaan sebesar 85.43%. Salah satu faktor yang dapat menyebabkan perubahan nilai aliran permukaan adalah perubahan penutupan lahan dan perubahan curah hujan.



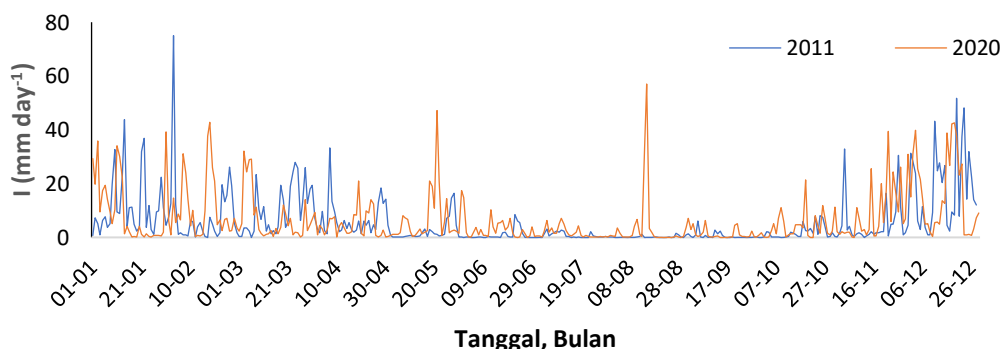
Gambar (Figure) 7. Hidrograf debit aliran sungai tahun 2011 dan 2020 (Hydrograph of river flow discharge in 2011 and 2020)

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Tabel (Table) 7. Perubahan nilai rata-rata komponen aliran sungai di Sub-DAS Tanralili (Change in the Average Values of River Flow Components in the Tanralili Sub-watershed)

Komponen Aliran Sungai	Aliran Tahun 2011		Aliran Tahun 2020		Perubahan	
	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	(%)	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	(%)	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	(%)
Base flow	1.29	11.01	0.45	2.32	-0.84	-65.12
Inter flow	0.43	3.69	0.42	2.17	-0.01	-2.33
Surface flow	10.02	85.30	18.58	95.51	8.56	85.43
Jumlah	11.75	100	19.45	100		

Sumber: Hasil analisis (Analysis result)



Gambar (Figure) 8. Fluktuasi curah hujan tahun 2011 dan 2020 (The rainfall fluctuation in 2011 and 2020)

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Menurut Yulianto *et al.* (2022) dan Merz *et al.* (2021) bahwa debit aliran dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan faktor karakteristik DAS. Faktor meteorologi yang mempengaruhi debit aliran sungai meliputi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi hujan. Sementara itu, karakteristik DAS yang turut memengaruhi debit aliran adalah luas dan bentuk DAS, topografi, serta pola tutupan lahan.

Tingginya nilai *surface flow* di sub-DAS Tanralili disebabkan oleh berbagai faktor fisik DAS dan faktor iklim yang telah disebutkan sebelumnya. Jenis tanah di sub-DAS Tanralili menyebabkan infiltrasi menjadi rendah, hal tersebut diperparah oleh kondisi lereng di sub-DAS Tanralili yang didominasi oleh lereng curam dan sangat curam. Selain itu, perubahan pada tutupan lahan yang terjadi di kawasan sub-DAS Tanralili telah menyebabkan terjadinya perubahan terhadap iklim mikro yang berpengaruh terhadap kondisi hidrologi di sub-DAS Tanralili. Menurut Husaini *et al.* (2022) parameter yang memengaruhi daerah resapan air adalah jenis tanah atau batuan, curah hujan, kemiringan lereng dan penggunaan lahan atau penutup lahan.

IV. KESIMPULAN

Analisis hidrograf menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada komponen aliran sungai di sub-DAS Tanralili antara tahun 2011 dan 2020, yaitu peningkatan aliran permukaan sebesar 85,43% dan penurunan aliran dasar sebesar 65,12%. Perubahan ini sejalan dengan adanya penurunan tutupan hutan dan peningkatan

lahan terbangun seperti sawah dan pemukiman, serta variasi curah hujan yang memengaruhi respon hidrologi DAS. Karakteristik fisik DAS, seperti lereng yang curam dan tekstur tanah yang agak halus sampai halus (lempung dan liat) juga memengaruhi terjadinya aliran permukaan. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya konservasi khususnya di kawasan hulu dan pengendalian alih fungsi lahan untuk meminimalkan resiko banjir dan degradasi tata air. Hasil ini mengindikasikan bahwa pendekatan hidrograf dapat digunakan untuk menilai dampak perubahan tutupan lahan terhadap hasil air di sub-DAS Tanralili. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan data curah hujan secara spasial-temporal yang lebih rinci dan pendekatan pemodelan hidrologi guna meningkatkan akurasi estimasi dinamika aliran. Analisis statistik perlu juga dilakukan untuk menilai faktor-faktor utama yang memengaruhi perubahan komponen aliran sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang mendalam kepada Bapak Akbar dan keluarga yang telah memberikan fasilitas tempat tinggal selama penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala dan staf BBWS Pompengan Jeneberang atas dukungannya dalam penyediaan data yang diperlukan untuk penelitian ini.

KONTRIBUSI

Kontribusi setiap penulis yakni: penulis pertama (1) menyusun konseptualisasi, metodologi, melakukan pengumpulan

data, interpretasi hasil, dan penulisan naskah; penulis kedua (2) berkontribusi pada analisis hidrologi dan interpretasi hasil; penulis ketiga (3) mengumpulkan data, pemetaan, dan analisis citra; dan penulis keempat (4) berkontribusi pada tinjauan kritis dan penyunting naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboelnour, M. A., Engel, B. A., Frisbee, M. D., Gitau, M. W., & Flanagan, D. C. (2021). Impacts of Watershed Physical Properties and Land Use on Base flow at Regional Scales. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100810>
- Afonso De Oliveira Serrão, E., Silva, M. T., Ferreira, T. R., Paiva De Ataíde, L. C., Assis Dos Santos, C., Meiguins De Lima, A. M., De Paulo Rodrigues Da Silva, V., De Assis Salviano De Sousa, F., & Cardoso Gomes, D. J. (2022). Impacts of land use and land cover changes on hydrological processes and sediment yield determined using the SWAT model. *International Journal of Sediment Research*, 37(1), 54–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2021.04.002>
- Aksoy, H., Kurt, I., & Eris, E. (2009). Filtered smoothed minima base flow separation method. *Journal of Hydrology*, 372(1–4), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.037>
- Birhanu, A., Masih, I., Van Der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X. (2019). Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 112, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006>
- Bolan, S., Padhye, L. P., Jasemizad, T., Govarthan, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Hou, D., Zhou, P., Biswal, B. K., Balasubramanian, R., Wang, H., Siddique, K. H. M., Rinklebe, J., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of The Total Environment*, 909, 168388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>
- Bosch, D. D., Arnold, J. G., Allen, P. G., Lim, K.-J., & Park, Y. S. (2017a). Temporal variations in base flow for the little river experimental watershed in South Georgia, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.02.002>
- Bosch, D. D., Arnold, J. G., Allen, P. G., Lim, K.-J., & Park, Y. S. (2017b). Temporal variations in base flow for the Little River experimental watershed in South Georgia, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.02.002>
- Caja, C., Ibunes, N., Paril, J., Reyes, A., Nazareno, J., Monjardin, C., & Uy, F. (2018). Effects of Land Cover Changes to the Quantity of Water Supply and Hydrologic Cycle using Water Balance Models. *MATEC Web of Conferences*, 150, 06004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815006004>
- Cartwright, I., & Miller, M. P. (2021). Temporal and spatial variations in river specific conductivity: Implications for understanding sources of river water and hydrograph separations. *Journal of Hydrology*, 593, 125895.

- <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125895>
- Casado-Rodríguez, J., & Del Jesus, M. (2022). Hydrograph separation for tackling equifinality in conceptual hydrological models. *Journal of Hydrology*, 610, 127816. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127816>
- Chuko, F. W., & Abdissa, A. G. (2023). Impact of land-use dynamics and climate change scenarios on Groundwater recharge in the case of Anger watershed, Ethiopia. *Heliyon*, 9(8), e18467. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18467>
- Dash, P., Shekhar, S., Paul, V., & Feng, G. (2024). Influence of Land Use and Land Cover Changes and Precipitation Patterns on Groundwater Storage in the Mississippi River Watershed: Insights from GRACE Satellite Data. *Remote Sensing*, 16(22), 4285. <https://doi.org/10.3390/rs16224285>
- Dharma, I. G. A., Waspodo, R. S. B., & Pandjaitan, N. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Debit Sungai (Studi Kasus: Sub-DAS Cikeas): Analysis of Land Use Change Influence to River Discharge (Study Case: Cikeas Sub-Basin). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 121–132. <https://doi.org/10.29244/jsil.6.2.121-132>
- Dwivedi, R. S., Sreenivas, K., & Ramana, K. V. (2005). Cover: Land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1285–1287. <https://doi.org/10.1080/01431160512331337763>
- Eka Kusuma Putra, Kharistya Amaru, & Dwi Rustam Kendarto. (2024). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Respon Hidrologi di Sub Daerah Aliran Sungai Cimeta Menggunakan Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *JURNAL TRITON*, 15(1), 78–92. <https://doi.org/10.47687/jt.v15i1.715>
- Ekasari, C., Barkey, R., A, C., Nursaputra, M., & Pahar, S. P. P. (2021). Socioeconomic characteristics of communities utilizing land in forest areas in the Maros Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 886(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/886/1/012028>
- Fajeriana, N., Ali, A., & Rini, R. P. (2024). Soil Tillage and Planting Along the Contour on Sloping Land to Minimize the Potential for Erosion and Surface Runoff. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(1). <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.1.82.93>
- Fajeriana, N. & Darmawan Risal. (2023). Peningkatan Pemahaman Tentang Potensi Erosi: Erosivitas dan Erodibilitas Dengan Simulasi Hujan Pada Topografi dan Tutupan Lahan yang Berbeda. *Abdimas: Papua Journal of Community Service*, 5(1), 64–74. <https://doi.org/10.33506/pjcs.v5i1.1687>
- Ferreira, L. M. R., Esteves, L. S., De Souza, E. P., & Dos Santos, C. A. C. (2019). Impact of the Urbanisation Process in the Availability of Ecosystem Services in a Tropical Ecotone Area. *Ecosystems*, 22(2), 266–282. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0270-0>
- Fischer, S., Schumann, A., & Bühler, P. (2021). A statistics-based automated

- flood event separation. *Journal of Hydrology* X, 10, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100070>
- Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M., & Worqlul, A. W. (2018). Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 619–620, 1394–1408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.191>
- Ihlen, V. (2019, November 26). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. USGS. <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Kholis, A. N., & Rendra, M. I. (2022). Potensi Resapan Air Tanah Di Kabupaten Bojonegoro Dengan Pendekatan GIS. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 10(2), 222–233.
- Kumar, M., Denis, D. M., Kundu, A., Joshi, N., & Suryavanshi, S. (2022). Understanding land use/land cover and climate change impacts on hydrological components of Usri watershed, India. *Applied Water Science*, 12(3), 39. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01547-6>
- Kumar, S., Mishra, A., & Singh, U. K. (2023). Assessment of Land Cover Changes and Climate Variability Effects on Catchment Hydrology Using a Physically Distributed Model. *Sustainability*, 15(13), 10304. <https://doi.org/10.3390/su151310304>
- Lee, J., Park, M., Min, J.-H., & Na, E. H. (2023). Integrated Assessment of the Land Use Change and Climate Change Impact on Base flow by Using Hydrologic Model. *Sustainability*, 15(16), 12465. <https://doi.org/10.3390/su151612465>
- Lee, K.-S., Park, Y., & Shin, W.-J. (2021). Hydrograph separation for a small agricultural watershed: The role of irrigation return flow. *Journal of Hydrology*, 593, 125831. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125831>
- Lestari, S. A., Anugerah, D. D., & Sarino. (2019). Analysis of Flood Hydrograph to the Land Use Change on Flood Peak Discharge in the Sekanak Watershed. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(8), 082016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/8/082016>
- Malede, D. A., Alamirew, T., & Andualem, T. G. (2022). Integrated and Individual Impacts of Land Use Land Cover and Climate Changes on Hydrological Flows over Birr River Watershed, Abbay Basin, Ethiopia. *Water*, 15(1), 166. <https://doi.org/10.3390/w15010166>
- Marselianti, Zubair, H., & Neswati, R. (2023). Soil Carbon Storage in Forest and Agriculture Land Use in the Tanralili Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1230(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012036>
- Mathewos, M., Lencha, S. M., & Tsegaye, M. (2022). Land Use and Land Cover Change Assessment and Future Predictions in the Matenchose Watershed, Rift Valley Basin, Using CA-Markov Simulation. *Land*, 11(10), 1632.

- <https://doi.org/10.3390/land11101632>
- Mekuriaw, T. (2019). Evaluating Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Surface Runoff using Arc SWAT Model in Sore and Geba Watershed, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 9(10), 7–17. <https://doi.org/10.7176/JEES/9-10-02>
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U., & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 592–609. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>
- Murniningsih, S. (2018). Study of erosion and sedimentation in urban areas for river with meander pattern. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 191(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/191/1/012127>
- Naik, S. R. S., Masilamani, P., Kushawaha, J., & Jahangeer, J. (2024). Investigating the impact of land use land cover change on groundwater level dynamics in the Koraiyar watershed, Coimbatore District, Tamil Nadu, India. *Frontiers in Water*, 6, 1339613. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1339613>
- Negatu, T. A., Zimale, F. A., & Steenhuis, T. S. (2022). Establishing Stage–Discharge Rating Curves in Developing Countries: Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/hydrology9010013>
- Nut, N., Mihara, M., Jeong, J., Ngo, B., Sigua, G., Prasad, P. V. V., & Reyes, M. R. (2021). Land Use and Land Cover Changes and Its Impact on Soil Erosion in Stung Sangkae Catchment of Cambodia. *Sustainability*, 13(16), 9276. <https://doi.org/10.3390/su13169276>
- Pelletier, A., & Andréassian, V. (2020). Hydrograph separation: An impartial parametrisation for an imperfect method. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(3), 1171–1187. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1171-2020>
- Permatasari, R., Sabar, A., & Natakusumah, D. K. (2017). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Rezim Hidrologi DAS (Studi Kasus: DAS Komerang). *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 91–98. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.1.11>
- Petrovic, F. (2021). Hydrological Impacts of Climate Change and Land Use. *Water*, 13(6), 799. <https://doi.org/10.3390/w13060799>
- Pribadi, A. D., Kusumawati, R. D., & Firdausi, A. A. (2020). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Di Das Sampean Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 19(2), 84–101. <https://doi.org/10.35760/dk.2020.v19i2.3492>
- Puslittanak. (2004). *Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Reddy, P. S., & Bhavani, R. (2024). Impact of Land-Use Changes on the Runoff of Nandigama, Andhra Pradesh, India. *Ecological Engineering &*

- Environmental Technology*, 25(2), 121–129.
<https://doi.org/10.12912/27197050/175958>
- Rizki Ramadhan Husaini, Muhammad Yazid, & Muhammad Al Amin. (2022). Identifikasi Kondisi Daerah Resapan Air Berbasis SIG (Studi Kasus di Kabupaten Bengkalis). *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil*, 1(2), 58–66.
<https://doi.org/10.56208/jtrs.v1.i2-hal58-66>
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., ... Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Santillan, J. R., Amora, A. M., Makinano-Santillan, M., Gingo, A. L., & Marqueso, J. T. (2019). Analyzing The Impacts Of Land Cover Change To The Hydrologic And Hydraulic Behaviours Of The Philippines' Third Largest River Basin. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-3/W1, 41–48.
<https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-W1-41-2019>
- Sertel, E., Imamoglu, M. Z., Cuceloglu, G., & Erturk, A. (2019). Impacts of Land Cover/Use Changes on Hydrological Processes in a Rapidly Urbanizing Mid-latitude Water Supply Catchment. *Water*, 11(5), 1075.
<https://doi.org/10.3390/w11051075>
- Subramanya, K. (2008). *Engineering Hydrology* (3rd ed.). Tata McGraw-Hill Publishing company Limited.
- Sukarman, Ritung, S., Anda, M., & Suryani, E. (2017). *Pedoman Pengamatan Tanah di Lapangan*. IAARD Press.
<https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/3c760cbd-804d-4458-9701-8d78771bbf60/content>
- Suleman, A. R., & Yusuf, H. (2019). Analisis Indeks Kinerja Rehabilitasi Jaringan Irigasi pada Daerah Irigasi (D.I) Lekopacking Kabupaten Maros. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3, 55–60.
- Surahman, S., Zubair, H., Munir, A., & Achmad, M. (2021). Impact of land use change on groundwater flow using SWAT model, study case: Tanralili Sub Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(3), 032056.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/3/032056>
- Suryanto, N. U., Damayanti, A., Dimyati, M., & Rustanto, A. (2021). Erosion hazard levels in the tanralili sub-watershed, south sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 683(1), 012065.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/683/1/012065>
- Syafri, S., Surya, B., Ridwan, R., Bahri, S., Rasyidi, E. S., & Sudarman, S. (2020). Water Quality Pollution Control and Watershed Management Based on Community Participation in Maros City, South Sulawesi, Indonesia. *Sustainability*, 12(24), 10260.
<https://doi.org/10.3390/su122410260>

- Vaillancourt, C., Duchesne, S., & Pelletier, G. (2019). Hydrologic Performance of Permeable Pavement as an Adaptive Measure in Urban Areas: Case Studies near Montreal, Canada. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(8), 05019020.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001812](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001812)
- Villalba-Barrios, A. F., Coronado-Hernández, O. E., Fuertes-Miquel, V. S., Coronado-Hernández, J. R., & Ramos, H. M. (2023). Statistical Approach for Computing Base Flow Rates in Gaged Rivers and Hydropower Effect Analysis. *Hydrology*, 10(7), 137.
<https://doi.org/10.3390/hydrology10070137>
- Yang, H., Choi, H. T., & Lim, H. (2018). Applicability Assessment of Estimation Methods for Base flow Recession Constants in Small Forest Catchments. *Water*, 10(8), 1074.
<https://doi.org/10.3390/w10081074>
- Yesuph, A. Y., & Dagneu, A. B. (2019). Land use/cover spatiotemporal dynamics, driving forces and implications at the Beshillo catchment of the Blue Nile Basin, North Eastern Highlands of Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 8(1), 21.
<https://doi.org/10.1186/s40068-019-0148-y>
- You, H., Tang, X., Deng, W., Song, H., Wang, Y., & Chen, J. (2022). A Study on the Difference of LULC Classification Results Based on Landsat 8 and Landsat 9 Data. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21).
<https://doi.org/10.3390/su142113730>
- Yulianto, F., Khomarudin, M. R., Hermawan, E., Nugroho, N. P., Chulafak, G. A., Nugroho, G., Nugroho, U. C., Suwarsono, S., Fitriana, H. L., & Priyanto, E. (2022). Spatial and temporal distribution of estimated surface runoff caused by land use/land cover changes in the upstream Citarum watershed, West Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(2), 3293–3305.
<https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.092.3293>

**MIKROHABITAT TUMBUHAN ENDEMIK *Cyrtandra polyneura* DI HUTAN GANDANG
DEWATA UNTUK BUDIDAYA BERBASIS AGROFORESTRI**

***(Microhabitat of the Endemic Plant *Cyrtandra polyneura* in the Gandang Dewata Forest for
Agroforestry-Based Cultivation)***

Wahyullah Wahyullah^{1,*}, Nurmuliayanti Muis², A. Baso Manguntungi², Irlan Irlan³, Andi
Asikin Muchtar¹, dan Ummu Kulsum¹

¹*Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Indonesia Timur, Jl. Rappocini
Raya 171-206 Makassar, Indonesia*

²*Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Sulawesi Barat, Majene, Sulawesi Barat,
Indonesia*

³*Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Sulawesi Barat, Majene, Sulawesi Barat,
Indonesia*

*Email: wahyullah405@gmail.com

Diterima: 30 Mei 2025, Direvisi : 29 Juni 2025, Disetujui : 4 Juli 2025

ABSTRACT

*The Sandaniki plant (*Cyrtandra polyneura*) is an endemic species found in the Gandang Dewata Forest in West Sulawesi. It is traditionally used as a food source during ceremonies of the Mamasa tribe. Excessive exploitation in its natural habitat raises concerns regarding its sustainability. This study aimed to identify microhabitat characteristics and analyze the relationship between environmental factors and the *C. polyneura* growth. The information will be use as baseline information to support its cultivation on community-owned land with an agroforestry system. Data were collected through direct field observations in 25 plots in the Gandang Dewata Forest. The observed parameters included the population of *C. polyneura* as the dependent variable; and soil moisture, light intensity, soil pH, and canopy cover density as the independent variables. The obtained data were analyzed quantitatively using descriptive methods and Spearman's Rho correlation analysis in SPSS. The results showed a strong positive correlation between soil moisture, tree density, and the population of *C. polyneura*. These findings suggest that *C. polyneura* can be cultivated in an agroforestry system under moist, shady, and densely forested microhabitat conditions, and slightly acidic soil. This study recommends adaptive cultivation as a conservation strategy and an agroforestry-based local food revitalization, in line with the wisdom of the Mamasa tribe.*

Keywords: *agroforestry; *Cyrtandra polyneura*; Gandang Dewata; microhabitat; local food*

ABSTRAK

Tumbuhan Sandaniki (*Cyrtandra polyneura*) termasuk tumbuhan endemik di kawasan hutan Gandang Dewata, Sulawesi Barat. Tumbuhan ini secara tradisional dimanfaatkan sebagai sumber pangan dalam upacara adat masyarakat Suku Mamasa. Eksploitasi berlebihan di habitat alaminya dapat menimbulkan kekhawatiran terhadap kelestariannya. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik mikrohabitat dan menganalisis hubungan antara faktor-faktor lingkungan dengan pertumbuhan *C. polyneura*. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk mendukung kegiatan budidaya pada lahan milik masyarakat dengan konsep agroforestri. Data dikumpulkan melalui observasi langsung pada 25 plot pengamatan di hutan Gandang Dewata. Parameter yang diamati meliputi populasi *C. polyneura* sebagai variabel dependen; kelembaban tanah, intensitas cahaya, pH tanah, serta kerapatan tutupan kanopi tajuk sebagai variabel independen. Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode deskriptif dan analisis korelasi Spearman's Rho dengan bantuan perangkat SPSS. Hasil menunjukkan bahwa kelembaban tanah dan kepadatan pohon memiliki korelasi positif yang kuat terhadap populasi *C. polyneura*. Temuan ini mengindikasikan bahwa *C. polyneura* dapat dibudidayakan pada sistem agroforestri pada kondisi mikrohabitat yang lembab, teduh, berpohon lebat, dan tanah yang agak asam. Penelitian ini merekomendasikan budidaya adaptif sebagai strategi konservasi dan upaya revitalisasi pangan lokal berbasis agroforestri berdasarkan kearifan suku Mamasa.

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

I. PENDAHULUAN

Keanekaragaman hayati merupakan pondasi penting bagi keberlangsungan kehidupan baik secara langsung maupun tidak langsung, karena menyediakan berbagai jasa ekosistem seperti sumber pangan, obat-obatan, dan keseimbangan iklim (Rawat & Agarwal, 2015). Hutan hujan tropis sebagai ekosistem yang paling kaya akan keanekaragaman hayati, memiliki kontribusi besar dalam mendukung kehidupan manusia terutama bagi masyarakat adat yang tinggal di sekitarnya (Grantham, 2022). Salah satu kawasan hutan hujan tropis yang masih relatif terjaga adalah Hutan Gandang Dewata yang terletak di wilayah pegunungan Sulawesi Barat. Hutan Gandang Dewata memiliki ekosistem yang

kompleks dengan tingkat produksi unsur hara tinggi serta struktur kanopi yang rapat, menjadikannya habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna endemik (Heryanto & Kintamani, 2021).

Masyarakat Suku Mamasa yang tinggal di sekitar kawasan hutan Gandang Dewata memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap sumber daya hutan baik untuk keperluan ekonomi, budaya, maupun pangan (Sarif, Semu, & Medi, 2024). Secara rutin, masyarakat sekitar hutan memanfaatkan hasil hutan non kayu, yang umumnya merupakan tumbuhan liar (Achmadi *et al.*, 2018). Salah satu spesies penting yang menjadi bagian dari konsumsi harian masyarakat Mamasa adalah *C. polyneura* atau lebih dikenal secara lokal sebagai tumbuhan *Sandaniki*. Tumbuhan *C.*

polyneura tergolong dalam famili Gesneriaceae dan merupakan salah satu dari sekitar 800 spesies dalam genus *Cyrtandra* yang tersebar di Asia Tenggara dan Pasifik (Atkins *et al.*, 2020; Johnson, 2017). Di Indonesia, spesies *C. polyneura* paling umum ditemukan di Pulau Sulawesi dan telah diidentifikasi sebagai tumbuhan endemik kepulauan Sulawesi (Bramley, Atkins, Kartonegoro, & Jimbo, 2023; Kartonegoro, Bone, & Atkins, 2018).

Spesies *C. polyneura* (Sandaniki) telah lama dikonsumsi sebagai pangan lokal oleh masyarakat Suku Mamasa, bahkan menjadi bagian penting dalam upacara adat dan simbol budaya (Achmadi *et al.*, 2018). Di pasar-pasar tradisional Mamasa, *C. polyneura* sering diperjualbelikan sebagai sayur hasil pengumpulan dari hutan (Atkins & Kartonegoro, 2021). Namun, hingga saat ini tumbuhan ini belum dapat dibudidayakan di luar habitat alaminya, dan seluruh kebutuhan masyarakat masih bergantung pada pengambilan langsung dari hutan alam Gandang Dewata (Achmadi *et al.*, 2018)

Ketergantungan masyarakat Suku Mamasa terhadap sumberdaya hasil hutan non kayu Gandang Dewata menjadi tantangan serius bagi pelestarian dan keberlanjutan *C. polyneura* sebagai sumber pangan lokal. Secara ekologis, kerusakan tumbuhan *C. polyneura* dapat berdampak pada terganggunya struktur vegetasi bawah hutan, hilangnya salah satu komponen biodiversitas lokal, potensi menurunnya fungsi penutup lahan yang berperan dalam menjaga kelembaban tanah dan mencegah erosi (Muchtar, Wahyullah, Herawaty, Arsyad, & Fathurrahman, 2024; Wahyullah,

Hendrayanto, & Suharnoto, 2023). Vegetasi tumbuhan bawah berperan besar dalam mengurangi limpasan permukaan dan kehilangan tanah (erosi) terutama pada sistem agroforestri dan hutan (Hairiah *et al.*, 2011). Tumbuhan *C. polyneura* yang tumbuh secara alami di kawasan hutan Gandang Dewata memiliki nilai penting bagi masyarakat lokal, baik sebagai bahan konsumsi maupun pemanfaatan tradisional lainnya. Namun, hingga saat ini, spesies ini belum berhasil dibudidayakan secara eks situ (di luar habitat alaminya). Ketergantungan masyarakat terhadap populasi liar *C. polyneura* menjadi tantangan serius bagi upaya konservasi, terutama di tengah meningkatnya tekanan terhadap hutan akibat pemanfaatan sumber daya secara terus-menerus. Pengembangan sistem agroforestri *C. polyneura* yang berkelanjutan ekologi berbasis kearifan lokal, diperlukan pemahaman yang mendalam mengenai mikrohabitat dan kondisi ekologisnya.

Selain itu, belum adanya kajian mikrohabitat terkait preferensi ekologis *C. polyneura* untuk tujuan budidaya berbasis agroforestri. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik mikrohabitat *C. polyneura* di Hutan Gandang Dewata dan menyusun kesesuaian habitat perkembangannya dalam pola agroforestri pada lahan milik masyarakat. Informasi ekologis yang diperoleh diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam bagi strategi budidaya spesies *C. polyneura* sebagai bagian dari sistem pangan lokal berbasis agroforestri, sekaligus mendukung pelestarian keanekaragaman hayati dan ketahanan pangan masyarakat Suku

Mamasa. Penelitian dilaksanakan melalui pendekatan eksploratif-kuantitatif, yang mencakup survei vegetasi dan pengukuran parameter mikrohabitat (seperti intensitas cahaya, suhu, kelembaban, kerapatan kanopi, jenis tanah, dan elevasi) pada lokasi tumbuh alami *C. polyneura*. Hipotesis Penelitian H_0 : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara karakteristik mikrohabitat dengan keberadaan dan pertumbuhan *C. polyneura*. H_1 : Terdapat hubungan yang signifikan antara karakteristik mikrohabitat tertentu (seperti naungan, kelembaban, atau elevasi) dengan keberadaan dan pertumbuhan *C. polyneura*.

II. BAHAN DAN METODE

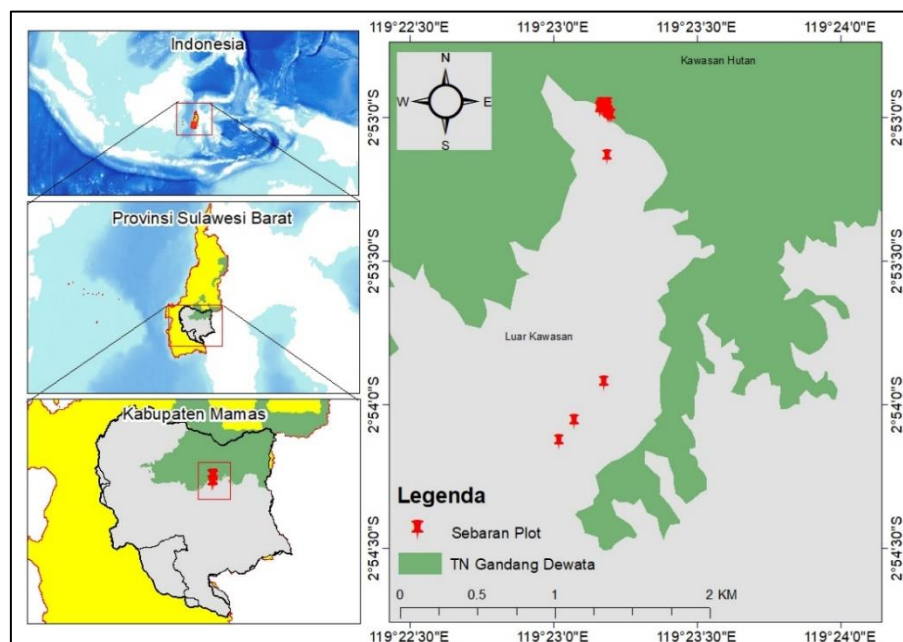
A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2023 di kawasan Hutan Gandang Dewata yang terletak pada ketinggian 1.576–1.615 meter di atas permukaan laut (mdpl), secara administratif berada di

Kecamatan Mamasa Kabupaten Mamasa Provinsi Sulawesi Barat. Lokasi penelitian berada pada koordinat $02^{\circ}52'58.75''$ – $02^{\circ}52'54.62''$ Lintang Selatan dan $119^{\circ}23'10.90''$ – $119^{\circ}23'10.48''$ Bujur Timur. Kawasan Hutan Gandang Dewata dipilih sebagai lokasi penelitian karena merupakan habitat alami tumbuhan spesies *C. polyneura* (Gambar 1).

B. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah OfflineMaps sebagai alat pengganti GPS yang terinstal pada aplikasi android berfungsi untuk mengambil titik koordinat plot dan titik dokumentasi, *lux meter* berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya matahari dalam plot, tester pH tanah berfungsi untuk mengukur pH tanah dalam plot, perangkat SPSS dan Excel. Bahan penelitian adalah *tally sheet*, plastik sampel, kantong sampel, kertas label, dan spidol.



Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian (Research location)

Sumber (Source): Hasil proses ArcGIS 10.4 (ArcGIS 10.4 process results), 2023

C. Metode Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan pendekatan *purposive sampling* yaitu pemilihan lokasi berdasarkan persebaran populasi spesies *C. polyneura* pucuk merah di hutan Gandang Dewata. Analisis habitat dilakukan menggunakan metode petak acak (20x20 meter) sebanyak 25 plot sebagai sebaran aktual populasi *C. polyneura* di lapangan. Setiap petak mewakili satuan observasi untuk analisis hubungan antara populasi Sandaniki dan variabel habitat. Parameter yang diamati dan metode pengumpulannya dijelaskan pada Tabel 1.

D. Deskripsi Tumbuhan *Cyrtandra polyneura*/Sandaniki

Tumbuhan *C. polyneura* merupakan spesies semak tumbuh tegak dari suku Gesneriaceae. Tumbuhan ini dapat tumbuh berumpun hingga setinggi ± 1 meter di bagian bawah bercabang dan muncul dari rimpang pendek dengan sistem akar serabut (Gambar 2.a, 2.b). Daunnya tersusun berpasangan secara berhadapan, permukaan atas daun berwarna hijau tua dan merah keunguan di bagian bawah daun saat masih muda dengan bentuk lonjong hingga lanset dan tepi rata (Gambar 2.c). Karakteristik khasnya adalah tulang daun sekunder yang sangat menonjol dan jumlahnya banyak (lebih dari 10 pasang). Permukaan batang muda dan tangkai daun ditutupi rambut halus dan tampak kemerahan. Bunga muncul dari kuncup di ketiak daun atau langsung dari

batang (*cauliflory*), berwarna merah muda cerah hingga ungu pucat (Gambar 2.d). Kelopak berbentuk corong dan mahkota bunga terdiri atas lima lobus yang tidak simetris. Bunga bersifat biseksual, dengan benang sari dan putik yang jelas. Buah warna hijau tua berupa kapsul kecil memanjang (Gambar 2.e).

E. Analisis Data

Penelitian ini menguji hubungan langsung antara pertumbuhan populasi *C. polyneura* pucuk merah dan masing-masing faktor lingkungan (satu per satu). *Spearman's Rho* ideal untuk menilai hubungan *monotonic* (naik atau turun secara konsisten), yang sangat relevan dalam melihat pengaruh lingkungan terhadap jumlah individu. Uji korelasi *Spearman's Rho* menggunakan SPSS dan tingkat kepercayaan $\alpha = 0,05$ atau hasil dianggap signifikan jika *p-value* ($p < 0,05$) yaitu terdapat hubungan antara pertumbuhan populasi Sandaniki dengan kelembaban tanah, pH tanah, kerapatan pohon & intensitas cahaya (Persamaan 1).

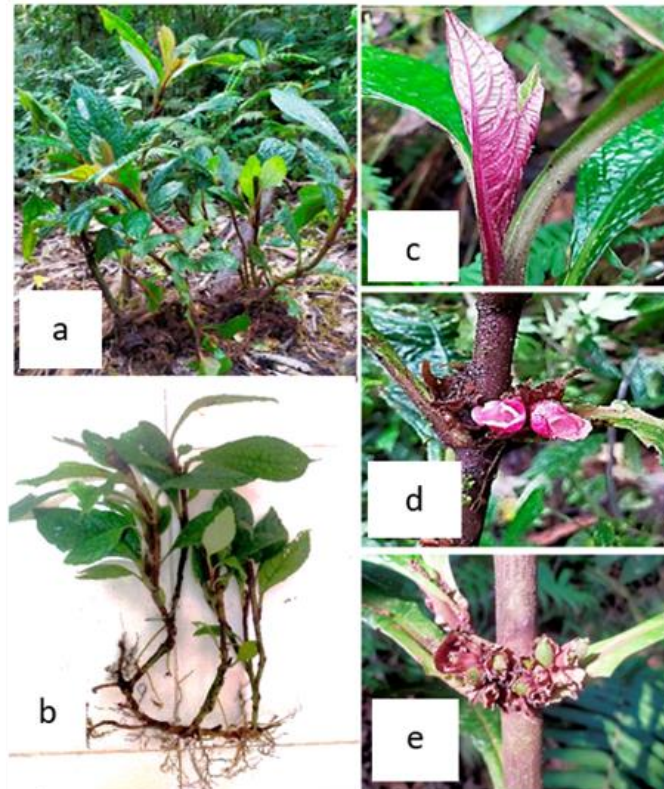
$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (1)$$

Dalam persamaan 1, ρ adalah korelasi spearman, d_i adalah selisih antara variabel x dan y ke- i , n adalah jumlah petak contoh. Peringkat keeratan hubungan antara masing-masing variabel yang diamati menggunakan pedoman dalam (Tabel 2). Nilai (+) adalah hubungan yang searah sedangkan nilai (-) adalah hubungan yang terbalik.

Tabel (Table) 1. Metode pengambilan data (Data collection methods)

No	Parameter	Metode Pengumpulan (Collection method)	Alat yang digunakan (Tools used)
1	Populasi <i>C. polyneura</i>	Pengamatan individu (5x5 meter)	Formulir pencatatan, GPS
2	Kelembaban Tanah	Kedalaman ± 10 cm (5x5 meter)	Soil meter
3	pH tanah	Permukaan (5x5 meter)	Soil meter
4	Kerapatan Pohon	Jumlah pohon (20x20 meter)	Roll meter, tallysheet
5	Intensitas Cahaya	W Pagi -siang	Lux meter

Sumber (Source): Hasil penyusunan penulis (Author's compilation), 2023



Gambar (Figure) 2. Tumbuhan *Cyrtandra polyneura* Pucuk Merah, a. satu rumpung, b. akar serabut, c. pucuk, d. bunga, e. Buah (Red Shoot *C. polyneura* plant, a. one clump, b. fibrous roots, c. shoots, d. flowers, e. fruit)

Sumber (Source): Foto hasil penelitian (personal documentations), 2023

Tabel (Table) 2. Ukuran Korelasi (Correlation measures)

Nilai (+) Korelasi Naik	Nilai (-) Korelasi Turun	Korelasi (correlation)	Interpretasi (interpretation)
0.90 to 1.0	-0.90 to -1.00	Sangat tinggi	Sangat baik
0.70 to 0.90	-0.70 to -0.90	Tinggi	Baik
0.40 to 0.70	-0.40 to -0.70	Sedang	Cukup
0.20 to 0.40	-0.20 to -0.40	Rendah	Kecil
0.00 to 0.20	0.00 to -0.20	Sangat Rendah	Tidak ada hubungan

Sumber (Source): Agunbiade & Ogunyinka (2013); Al-Taai & Hadi (2018)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

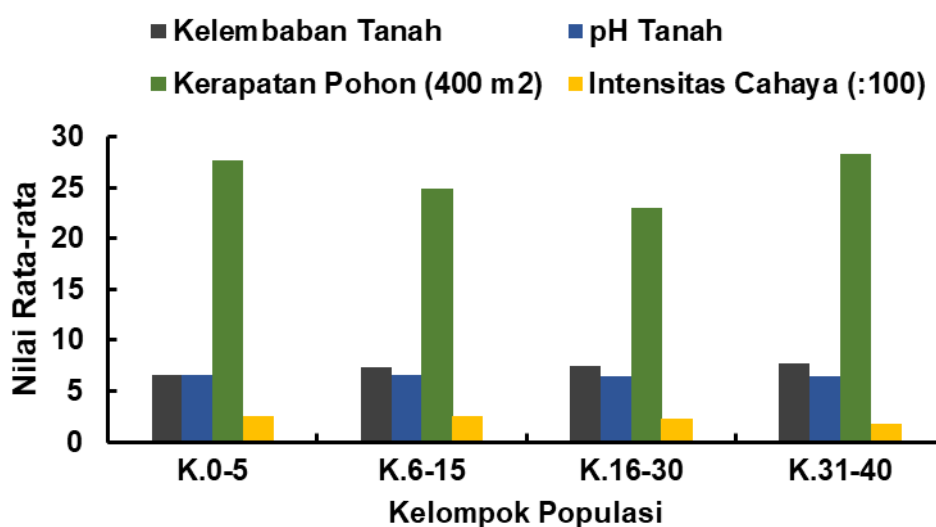
A. Hasil

Populasi *C. Polyneura*

Sebanyak 25 plot berukuran 20x20 meter (400 m²) ditetapkan secara acak berdasarkan pada lokasi habitat alami *C.polyneura*. Terdapat perhitungan populasi *C. polyneura* mulai dari 1 batang sampai 40 batang dihitung dalam plot ukuran 5x5 meter dan populasinya dikelompokkan menjadi empat (Gambar 3). Sebanyak 25 plot berukuran 20 × 20 meter (400 m²) ditetapkan secara acak pada lokasi-lokasi yang telah diidentifikasi sebagai habitat alami *C. polyneura*.

Rata-rata variabel berdasarkan kelompok populasi (K.0-5, K.6-15, K.16-30, K.31-40) menunjukkan adanya hubungan antara kondisi lingkungan (kelembaban tanah, pH tanah, kerapatan kanopi pohon, dan intensitas cahaya) dengan perkembangan populasi. Kelembaban tanah cenderung tinggi pada kelompok populasi rendah (K.0–5), namun menurun

hingga kelembaban 8 (80%) seiring bertambahnya jumlah populasi dan pada kelembaban <6 (60%) seiring berkurangnya jumlah populasi. Hal ini mengindikasikan bahwa *C. polyneura* kemampuan tumbuh secara signifikan pada area memiliki kelembapan sedang sekitar 7-8 (70%-80%). Variabel pH tanah terlihat relatif stabil di semua kelompok dengan sedikit penurunan pada kelompok populasi sedang (K.16–30), secara umum tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah populasi. Kerapatan pohon justru meningkat bersamaan dengan populasi yang menunjukkan bahwa *C. polyneura* lebih banyak tumbuh di area berhutan lebat atau memiliki naungan yang cukup. Intensitas cahaya cenderung lebih tinggi di kelompok populasi rendah dan menurun tajam di kelompok populasi tinggi akibat tutupan kanopi yang lebih rapat. Tumbuhan Sandaniki lebih banyak tumbuh di area yang memiliki kelembapan sedang, intensitas cahaya rendah, dan kerapatan pohon yang tinggi.



Gambar (Figure) 3. Grafik populasi habitat *C. polyneura* (Habitat population graph)

Sumber (Source): Hasil analisis data (Data analysis results), 2024

Rata-rata variabel berdasarkan kelompok populasi (K.0-5, K.6-15, K.16-30, K.31-40) menunjukkan adanya hubungan antara kondisi lingkungan (kelembaban tanah, pH tanah, kerapatan kanopi pohon, dan intensitas cahaya) dengan perkembangan populasi. Kelembaban tanah cenderung tinggi pada kelompok populasi rendah (K.0–5), namun menurun hingga kelembaban 8 (80%) seiring bertambahnya jumlah populasi dan pada kelembaban <6 (60%) seiring berkurangnya jumlah populasi. Hal ini mengindikasikan bahwa *C. polyneura* kemampuan tumbuh secara signifikan pada area memiliki kelembaban sedang sekitar 7-8 (70%-80%). Variabel pH tanah terlihat relatif stabil di semua kelompok dengan sedikit penurunan pada kelompok populasi sedang (K.16–30), secara umum tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah populasi. Kerapatan pohon justru meningkat bersamaan dengan populasi yang menunjukkan bahwa *C. polyneura* lebih banyak tumbuh di area berhutan lebat atau memiliki naungan yang cukup. Intensitas cahaya cenderung lebih tinggi di kelompok populasi rendah dan menurun tajam di

kelompok populasi tinggi akibat tutupan kanopi yang lebih rapat. Tumbuhan Sandaniki lebih banyak tumbuh di area yang memiliki kelembapan sedang, intensitas cahaya rendah, dan kerapatan pohon yang tinggi.

Karakteristik Mikrohabitat C. polyneura

Hasil korelasi menunjukkan bahwa populasi Sandaniki memiliki hubungan yang erat dengan beberapa faktor habitat (Tabel 3).

Populasi tumbuhan *C. polyneura* meningkat secara signifikan di area yang memiliki kelembaban tanah tinggi dengan korelasi positif kuat ($r = 0.682$). Kelembaban tanah berkorelasi tinggi dan positif menunjukkan bahwa pertumbuhan paling baik adalah pada kelembaban yang tinggi. Sebaliknya, populasi *C. polyneura* cenderung menurun pada pH tanah yang lebih tinggi ($r = -0.420$), yang menunjukkan preferensi terhadap tanah yang agak asam. Tumbuhan *C. polyneura* lebih sering ditemukan di daerah yang memiliki kerapatan pohon tinggi ($r = 0.514$) yang memberikan naungan dan menjaga kondisi mikrohabitat tetap lembab.

Tabel (Table) 3. Korelasi faktor habitat (*Correlation of habitat factors*)

Koefisien Korelasi (<i>correlation coefficient</i>)	Populasi (<i>population</i>) <i>C. polyneura</i>	Kelembaban Tanah (<i>soil moisture</i>)	pH Tanah (<i>soil pH</i>)	Kerapatan Pohon (<i>canopy density</i>)	Intensitas Cahaya (<i>light intensity</i>)
Populasi Sandaniki	1	0.682*	-0.420*	0.514*	-0.771*
Kelembaban Tanah	Cukup (+)	1	-0.154	0.502*	-0.737*
pH Tanah	Cukup (-)	Tidak ada hubungan (-)	1	-0.138	0.243
Kerapatan Pohon	Cukup (+)	Cukup (+)	Tidak ada hubungan (-)	1	-0.687*
Intensitas Cahaya	Baik (-)	Baik (-)	Kecil (+)	Cukup (-)	1

*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Sumber (Source): Hasil analisis SPSS 2024 (*SPSS analysis results*), 2024

Korelasi negatif sangat kuat antara populasi dan intensitas cahaya ($r = -0.771$) mengindikasikan bahwa *C. polyneura* merupakan tumbuhan tidak toleran terhadap cahaya langsung dan lebih dominan di tempat teduh. Tumbuhan *C. polyneura* menunjukkan adaptasi yang kuat terhadap lingkungan hutan lembab, teduh, dan berhutan lebat.

Kesesuaian Pertumbuhan *C. Polyneura* Berbasis Agroforestri

Acuan kesesuaian budidaya *C. polyneura* (Sandaniki) untuk pendekatan agroforestri yang dapat mempertahankan fungsi habitatnya (Tabel 4).

Tabel 4 menyajikan data dari enam plot dengan populasi *C. polyneura* tertinggi (32–37 individu per 25 m²) yang dapat digunakan sebagai pedoman kesesuaian habitat untuk sistem budidaya berbasis agroforestri. Dari tabel kesesuaian terlihat bahwa *C. polyneura* tumbuh dengan sangat baik pada kelembaban tanah antara 7.5 hingga 8.0. Kondisi pH tanah yang mendukung pertumbuhan optimal *C. polyneura* berkisar antara 6.0 hingga 6.8 dengan keasaman ringan hingga netral. Kerapatan tegakan pohon bervariasi antara

20 hingga 37 pohon per 400 m², menunjukkan bahwa spesies ini dapat beradaptasi baik di lingkungan dengan naungan sedang hingga padat.

B. Pembahasan

Sistem agroforestri memiliki peran strategis dalam mewujudkan produksi pangan yang berkelanjutan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Mengintegrasikan pohon ke dalam sistem agroforestri dapat meningkatkan produktivitas lahan dan menjaga fungsi ekologis seperti konservasi tanah dan air, mengurangi erosi tanah, dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim (Rolo, 2022; Satish *et al.*, 2024). Tumbuhan *C. polyneura* sangat sesuai dikembangkan dalam sistem agroforestri yang meniru struktur ekosistem hutan alaminya yaitu lembab, teduh, dan kaya organik. Studi yang dilakukan Budiastuti, Prunomo, & Setyaningrum (2021) menunjukkan bahwa agroforestri dapat menurunkan suhu lingkungan dan meningkatkan kelembaban relatif, menciptakan mikroklimat yang mendukung pertumbuhan tanaman bawah tajuk.

Tabel (Table) 4. Pedoman Kesesuaian budidaya *C. polyneura* berbasis agroforestri (Guidelines for the suitability of agroforestry-based *C. polyneura* cultivation)

Plot	Populasi Sandaniki (25 m ²)	Kelompok Populasi (<i>population group</i>) K.31-40				Keterangan (<i>notes</i>)
		Kelembaban (<i>soil moisture</i>) (%)	pH Tanah (<i>soil pH</i>)	Kerapatan Pohon (<i>canopy density</i>) (400 m ²)	Intensitas Cahaya (<i>light intensity</i>) (<i>Lux</i>)	
p4	37	80	6	34	135	Baik
p5	37	80	6.5	37	135	Baik
p6	35	75	6.5	35	188	Baik
p7	35	75	6.8	20	192	Baik
p8	33	75	6.8	23	174	Baik
p9	32	75	6.4	21	236	Baik

Sumber (*Source*): Hasil pengolahan data (*Data processing results*), 2024

Sementara itu, hasil studi Hani & Suryanto (2014) menunjukkan bahwa agroforestri dengan kerapatan pohon 482–650 pohon per hektar menghasilkan intensitas cahaya di bawah tajuk antara 30–50% dari cahaya penuh, menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman bawah naungan. Sistem agroforestri dengan kerapatan pohon antara 20–37 pohon per 400 m² (setara dengan 500–925 pohon per hektar) menghasilkan intensitas cahaya di bawah tajuk sekitar 135–236 lux. Kondisi agroforestri sesuai dengan kebutuhan *C. polyneura* yang tumbuh optimal di bawah naungan (Navvab, 2011). Budidaya berbasis agroforestri tidak hanya mendukung konservasi tetapi juga dapat menjadi bagian dari sistem pertanian berkelanjutan yang memperkaya keanekaragaman hayati dan sumber ekonomi masyarakat lokal (Rolo, 2022; VijayKumar *et al.*, 2024).

Kecenderungan perkembangan lebih baik di area berpohon lebat yang menjaga kelembaban dan intensitas cahaya. Intensitas cahaya yang relatif rendah hingga sedang (135–236 lux) mendukung temuan sebelumnya bahwa *C. polyneura* adalah spesies yang suka tempat teduh (*shade-loving*) (Atkins *et al.*, 2020; Atkins & Kartonegoro, 2021). Keenam plot (Tabel 4) menunjukkan bahwa kombinasi kelembaban tinggi, cahaya rendah (<300 lux), dan pH tanah agak asam adalah kondisi ideal untuk pertumbuhan optimal *C. polyneura* karena mengurangi stress (Shen, Tan, Sun, & Chen, 2020). Oleh karena itu, parameter-parameter dari plot tersebut dapat dijadikan acuan teknis dalam merancang habitat budidaya bagi

spesies *C. polyneura* dalam sistem agroforestri yang mendukung perkembangan budidaya pangan lokal Mamasa.

Temuan lapangan mengenai *C. polyneura* atau Sandaniki yang menunjukkan warna bunga kemerahan merupakan hal yang menarik dan patut didiskusikan lebih lanjut, karena berbeda dengan yang diperkenalkan oleh Atkins & Kartonegoro (2021), dimana warna bunganya putih kehijauan. Tidak menutup kemungkinan bahwa individu dengan bunga kemerahan tersebut merupakan variasi lokal, populasi terisolasi, atau bahkan belum sepenuhnya terdeskripsi secara taksonomi. Perbedaan warna bunga bisa menjadi indikasi penting untuk studi lanjutan, baik untuk konfirmasi taksonomi maupun untuk memahami dinamika adaptasi ekologis spesies ini (Cronk, Kiehn, Warren, & Smith, 2005). Koleksi herbarium, studi morfologi lanjut, dan analisis genetik akan sangat bermanfaat untuk menentukan apakah ini adalah bentuk variasi alami dalam spesies yang sama, atau mencerminkan suatu entitas taksonomi yang berbeda. Tiga jenis pangan lokal yang disebut sebagai "*Sandaniki*" di Mamasa merupakan kontribusi penting terhadap pemahaman keanekaragaman hayati dan pengetahuan lokal dalam sistem agroekologi di Sulawesi yaitu Sandaniki Kayu, semak hijau, dan semak merah keunguan. Ketiganya bisa jadi adalah bagian dari kompleks spesies *Cyrtandra* atau bahkan merupakan spesies yang berbeda namun masih belum sepenuhnya terdokumentasi secara ilmiah (Achmadi *et al.*, 2018).

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pertumbuhan *C. polyneura* di Hutan Gandang Dewata dapat dinyatakan bahwa ada hubungan yang erat antara pertumbuhan *C. Polyneura* dengan faktor lingkungan termasuk kelembaban, kerapatan pohon, dan intensitas cahaya rendah, dengan pH tanah agak asam sehingga ada kemungkinan bahwa pertumbuhan *C. Polyneura* tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan tersebut. Temuan ini jika *C. Polyneura* akan dibudidayakan, perlu meniru kondisi mikrohabitat alaminya dengan pola agroforestri yang sesuai. Ditemukannya variasi bunga berwarna kemerahan membuka peluang untuk penelitian lanjutan tentang variasi genetik dan taksonomi. Pendekatan budidaya adaptif berbasis kearifan lokal direkomendasikan untuk mendukung konservasi dan ketahanan pangan masyarakat Mamasa. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji aspek fisiologi adaptasi tanaman ini terhadap variasi mikrohabitat, serta melakukan analisis molekuler guna mengklarifikasi status taksonomi varian lokal yang ditemukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemerintah Desa Tondok Bakaru Kecamatan Mamasa Kabupaten Mamasa terkhusus oleh masyarakat Dusun Rante Pongkok telah memfasilitasi dan mendampingi masuk TN Hutan Gandang demi terlaksananya penelitian ini.

KONTRIBUSI

Penulis 1 merancang dan menganalisa penelitian. Penulis 2, 3, dan 4 melakukan kegiatan pengambilan data lapangan. Penulis 5, dan 6 merevisi tulisan dan data analisa. Semua penulis memberikan kontribusi yang sama dalam melakukan penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, A. S., Hamidy, A., Maryanto, I., Lupiyaningdyah, P., Sitohang, V. B. L., Kahono, S., Kartonegoro, A., Ardiyani, M., Mulyaningsih, E. S., & Kant, A. (2018). *Ekspedisi Sulawesi Barat: Flora, Fauna, Dan Mikroorganisme Gandang Dewata*.
<https://penerbit.brin.go.id/press/catalog/book/165>
- Agunbiade, D. A., & Ogunyinka, P. I. (2013). Effect of Correlation Level on the Use of Auxiliary Variable in Double Sampling for Regression Estimation. *Open Journal of Statistics*, 03(05), 312–318.
<https://doi.org/10.4236/ojs.2013.35037>
- Al-Taai, O. T., & Hadi, S. H. (2018). Analysis of the Monthly and Annual Change of Soil Moisture and Evaporation in Iraq. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 29(4), 7–13.
<https://doi.org/10.23851/mjs.v29i4.151>
- Atkins, H. J., Bramley, G. L. C., Johnson, M. A., Kartonegoro, A., Nishii, K., Kokubugata, G., Möller, M., & Hughes, M. (2020). A molecular phylogeny of Southeast Asian *Cyrtandra* (Gesneriaceae) supports an emerging paradigm for Malesian plant

- biogeography. In *Frontiers of Biogeography* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.21425/F5FBG44184>
- Atkins, H., & Kartonegoro, A. (2021). a Taxonomic Revision of *Cyrtandra* (Gesneriaceae) in Sulawesi, Indonesia. *Edinburgh Journal of Botany*, 78, 1–122. <https://doi.org/10.24823/ejb.2021.364>
- Bramley, G. L. C., Atkins, H. J., Kartonegoro, A., & Jimbo, T. (2023). An Annotated Checklist of *Cyrtandra*, *Cyrtandropsis* and *Sepioka* An Annotated Checklist of *Cyrtandra*, *Cyrtandropsis* and *Sepioka* (Gesneriaceae) in New Guinea. *Kew Bulletin*, December. <https://doi.org/10.1007/s12225-023-10151-7>
- Budiastuti, M. T. S., Purnomo, D., & Setyaningrum, D. (2021). Agroforestry System as the Best Vegetation Management to Face Forest Degradation in Indonesia. *Reviews in Agricultural Science*, 10, 14–23. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_14
- Cronk, Q. C. B., Kiehn, M., Warren, W. L., & Smith, J. F. (2005). Evolution of *Cyrtandra* (Gesneriaceae) In the Pacific Ocean: The Origin of A Supertramp Clade. *American Journal of Botany*, 92(6), 1017–1024. <https://doi.org/10.1002/0470862106.ia744>
- Grantham, H. S. (2022). Forest Conservation: Importance of Indigenous Lands. *Current Biology*, 32(22), R1274–R1276. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.10.026>
- Hairiah, K., Sonya, D., Agus, F., Velarde, S., Ekadinata, A., Rahayu, S., & van Noordwijk, M. (2011). *Measuring Carbon Stocks Accross Land Use Systems. A Manual*. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA regional office, Indonesia, Bogor, p. 154. www.worldagroforestrycentre.org
- Hani, A., & Suryanto, P. (2014). Dinamika Agroforestry Tegalan Di Perbukitan Menoreh, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 3(2), 119–128.
- Heryanto, & Kintamani, E. (2021). Ecological Linkages Between Snails and Litters In Mount Gandang Dewata, West Sulawesi. *Jurnal Biologi Indonesia*, 17(2), 175–181. <https://doi.org/10.47349/jbi/17022021/175>
- Johnson, M. A. (2017). Four New Species of *Cyrtandra* (Gesneriaceae) from the South Pacific Islands of Fiji. *PhytoKeys*, 91, 105–124. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.91.21623>
- Kartonegoro, A., Bone, R. E., & Atkins, H. J. (2018). Eleven New Species Of *Cyrtandra* (Gesneriaceae) From Sulawesi, Indonesia. *Edinburgh Journal of Botany*, 75(2), 173–204. <https://doi.org/10.1017/S0960428618000045>
- Muchtar, A., Wahyullah, W., Herawaty, H., Arsyad, U., & Fathurrahman, A. F. (2024). Estimasi Limpasan Permukaan dengan Menggunakan Metode CN Modifikasi di Sub DAS Mamasa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 1001–1008. <https://doi.org/10.14710/jil.22.4.1001-1008>
- Navvab, M. (2011). Lighting Aspects for Plant Growth in Controlled. *27th Session of the CIE South Africa*, 430–440.

- Rawat, U. S., & Agarwal, N. K. (2015). Biodiversity: Concept, Threats and Conservation. *Environment Conservation Journal*, 16(3), 19–28. <https://doi.org/10.36953/ECJ.2015.16303>
- Rolo, V. (2022). Agroforestry for Sustainable Food Production. *Sustainability*, 14(16), 10193. <https://doi.org/10.3390/su141610193>
- Sarif, M., Semu, Y. D., & Medi. (2024). Analisis Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Sekitar Taman Nasional Gandang Dewata. *Jurnal Nusa Sylva*, 23(2), 51–63. <https://doi.org/10.31938/jns.v23i2.654>
- Satish, P., Madiwalar, A. F., Lallawmkimi, M. C., Reddy, K. J., Parveen, S., P, A., Laxman, T., Kiruba, M., & Anand, G. (2024). Agroforestry: Multifunctional Benefits and Implementation Strategies. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(10), 1–12. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i10821>
- Shen, G., Tan, S., Sun, X., Chen, Y., & Li, B. (2020). Experimental Evidence for the Importance of Light on Understory Grass Communities in a Subtropical Forest. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01051>
- VijayKumar, R., Lallawmkimi, M. C., Gautam, S. K., Tiwari, P., KS, A., Sekhar, M., & Upadhyay, L. (2024). Agroforestry Practices as a Keystone for Biodiversity Conservation: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(9), 61–76. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i92805>
- Wahyullah, W., Hendrayanto, H., & Suharnoto, Y. (2023). Simulation of the impact of land use change on surface run-off in Karst Leang Lonrong Sub-Watershed. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 13(2), 313–326. <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.2.313-326>

Halaman ini sengaja dikosongkan

MODEL 3D SEBARAN AKUIFER DI GEOWISATA DANAU DENDAM TAK SUDAH KOTA BENGKULU MENGGUNAKAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING

*(3d Model of Aquifer Layer Distribution Around Lake Dendam Nature Park Of Bengkulu City
Using Schlumberger Configuration Geoelectric Method)*

Intan Gayatriani¹, Suhendra^{1,*}, Refrizon¹, Halauddin¹, Usman Gumanty¹, Sendiya Verentina¹,
Marven Saputra¹

¹Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu,
Jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, geofisika_fmipa@unib.ac.id

*suhendra@unib.ac.id

Diterima: 22 Februari 2025, Direvisi : 2 Juni 2025, Disetujui : 8 Juli 2025

ABSTRACT

The city of Bengkulu is the capital of Bengkulu Province, has a lake called Danau Dendam Tak Sudah (DDTS), which is located in a strategic area due to its potential underground water resources. The purpose of this study was to determine the distribution of aquifers around DDTS, in Surabaya Village, Sungai Serut Subdistrict, Bengkulu City through the geophysical method of Vertical Electrical Sounding (VES) with Schlumberger Configuration. VES measurement points were taken at 21 points. This study was conducted in a residential area to determine whether the subsurface aquifer is connected to water in DDTS. Data acquisition used the MAE X612-EM VHR Multi-Channel Resistivitymeter Geoelectric tool. The results of data acquisition in the field were then processed using Progress, Strater, IP2win and Surfer software. The interpretation results show that the resistivity value, depth and thickness vary as well as the existence of 2 - 5 layers as the geological structure and characteristics of the local lithology with a resistivity value of 2 - 19 $\Omega.m$ is groundwater, resistivity value of 19 - 30 $\Omega.m$ clay flake, resistivity value of 30 - 70 $\Omega.m$ clay, resistivity value of 70 - 100 $\Omega.m$ top soil and resistivity value of 100 - 150 $\Omega.m$ sandy gravel. Shallow aquifers are estimated to be at a depth of < 20 m, while the deep aquifers are located at > 25 m below the surface and have a thickness of 2 to 78.5 m. The resulting 3D model of the aquifer layer distribution can be identified as zones with potential groundwater.

Keywords: *Aquifer; Lake Dendam Tak Sudah; Resistivity; 3D Model*

ABSTRAK

Kota Bengkulu, ibu kota Provinsi Bengkulu memiliki Danau bernama Danau Dendam Tak Sudah (DDTS), yang terletak pada wilayah strategis karena adanya potensi sumber daya air bawah tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran akuifer di sekitar DDTS,

di Kelurahan Surabaya, Kecamatan Sungai Serut, Kota Bengkulu melalui metode geofisika Vertical Electrical Sounding (VES) dengan Konfigurasi Schlumberger. Titik pengukuran VES diambil sebanyak 21 titik. Penelitian ini dilakukan di area pemukiman untuk mengetahui apakah akuifer bawah permukaan tersambung / keterkaitan dengan air di DDTs. Akuisisi data menggunakan alat Geolistrik MAE X612-EM VHR Multi-Channel Resistivimeter. Hasil akuisisi data di lapangan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Progress, Strater, IP2win dan Surfer. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa nilai resistivitas, kedalaman dan ketebalan bervariasi serta keberadaan lapisan 2 – 5 lapisan sebagaimana struktur geologi dan karakteristik litologi setempat dengan nilai resistivitas 2 – 19 $\Omega.m$ adalah air tanah, nilai resistivitas 19 – 30 $\Omega.m$ lempung serpihan, nilai resistivitas 30 – 70 $\Omega.m$ lempung, nilai resistivitas 70 – 100 $\Omega.m$ top soil (tanah lapisan atas?) dan nilai resistivitas 100 – 150 $\Omega.m$ kerikil pasir. Akuifer dangkal diperkirakan berada pada kedalaman < 20 m, sedangkan akuifer dalam terletak pada > 25 m di bawah permukaan dan memiliki ketebalan 2 sampai 78,5 m. Model 3D sebaran lapisan akuifer yang dihasilkan dapat diketahui sebagai zona yang berpotensi mengandung air tanah.

Kata kunci: Akuifer; Danau Dendam Tak Sudah; Resistivitas; Model 3

I. PENDAHULUAN

Kota Bengkulu memiliki sebuah danau yang bernama Danau Dendam Tak Sudah (DDTS) yang terletak di Kelurahan Dusun Besar, Kecamatan Singaran Pati, kota Bengkulu (Hindersah, 2009). Secara geografis, Danau Dendam Tak Sudah (DDTS) berlokasi pada koordinat 03°47'34" LS dan 102°18'13" BT dan mempunyai luas keseluruhan 557 ha. DDTS masuk ke dalam DAS Bengkulu yang dikategorikan sebagai Sub DAS Bengkulu Hilir (Khalik dkk., 2023). Danau Dendam Tak Sudah tersebut pernah ditetapkan sebagai kawasan Cagar Alam (geowisata) karena mempunyai ciri khas tumbuhan Anggrek Pinsil, sehingga ekosistemnya perlu untuk dilindungi. Pada tahun 2018, masyarakat sekitar mendukung rencana pemerintah untuk menurunkan status kawasan DDTS menjadi Taman Wisata Alam (TWA) dan sekarang menjadi tempat yang sering dikunjungi pada saat liburan bersama keluarga untuk menikmati alam (Arini dkk., 2021).

Sebagian geowisata DDTS telah ditetapkan secara resmi sebagai Taman Wisata Alam kota Bengkulu dengan luas ± 88 hektar setelah keluarnya SK.79/MENLHK/SETJEN/PLA.2/1/2019 tentang penguatan fungsi sebagai pokok kawasan hutan dari beberapa kawasan cagar alam (Tampubolon dkk., 2023).

Aliran air yang berasal dari DDTS berfungsi untuk irigasi areal persawahan dan pertanian yang berada di sekitar danau tersebut (Hindersah, 2009). Terdapat puluhan sampai ratusan hektar sawah yang pengairannya berasal dari air Danau Dendam Tak Sudah tersebut (Pudiansa dkk., 2024). Beberapa tahun terakhir, debit air di DDTS mengalami penurunan, sehingga tidak mencukupi untuk mengairi kawasan persawahan sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh alir fungsi lahan di sekitar DDTS dijadikan kawasan perumahan, serta meningkatnya jumlah sumur bor akuifer dalam. Akibatnya, daerah resapan air dan sumber air tanah semakin menyusut.

Penurunan debit air ini berkaitan dengan keberadaan lapisan akuifer sekitar DDTs, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih untuk mengetahui sebaran lapisan akuifer di sekitar DDTs terutama pada bagian hulu dari danau tersebut (Sudarta, 2022).

Akuifer adalah lapisan geologi yang permeabel yang dapat menyimpan dan meloloskan air (Todd & Mays, 2005). Akuifer terbagi empat macam yaitu akuifer setengah tertekan (*semi confined aquifer*), akuifer bebas (*unconfined aquifer*), akuifer setengah bebas (*semi unconfined aquifer*), dan akuifer tertekan (*confined aquifer*) (Fetter, 2001). Akuifer bebas adalah muka air tanah dengan lapisan jenuh air. Akuifer tertekan adalah akuifer yang sepenuhnya jenuh air dengan bagian bawah di bawah lapisan jenuh air. Akuifer setengah tertekan adalah akuifer lapisan bawah dan atas dibatasi oleh lapisan jenuh air yang memiliki tekanan lebih besar dari pada tekanan atmosfer di lapisan jenuh air (Oloruntola *et al.*, 2019).

Air tanah mempunyai peran penting bagi makhluk hidup di bumi untuk kehidupan dasar sehari-hari (Febriana dkk., 2017). Ketersediaan air juga dipengaruhi oleh meningkatnya pertumbuhan penduduk dan penggunaannya (Nuraini dkk., 2022). Peningkatan jumlah penduduk akan membutuhkan ketersediaan air tanah yang lebih banyak (Lu *et al.*, 2025). Ketersediaan air untuk masyarakat bisa memanfaatkan dari penyerapan air tanah, salah satunya air tanah dangkal (Irawan dkk., 2022).

Air tanah merupakan semua lapisan yang mengandung air (*akuifer*), termasuk pada mata air yang muncul di permukaan tanah (Nainggolan dkk., 2024). Air tanah

juga dihasilkan oleh proses hidrologi (Andas dkk., 2020), seperti proses terjadinya hujan yang kemudian jatuh dan meresap kedalam tanah daerah imbuhan lalu mengalir menuju ke daerah lepasan (Sedana dkk., 2015). Namun ketersediaan air tanah tidak merata di setiap wilayah. Hal itu tergantung pada volume air permukaan dan lapisan akuifer pada sebuah wilayah (Djana, 2023). Keadaan ini menyebabkan kedalaman lapisan air tanah di area penelitian menjadi sangat beragam (Rizka & Satiawan, 2019). Struktur lapisan batuan atau akuifer dapat diketahui menggunakan ilmu geofisika yang memiliki beberapa metode (Fitrianto dkk., 2018).

Penelitian ini menggunakan salah satu metode geofisika, yaitu metode geolistrik VES untuk memperoleh informasi mengenai kondisi bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikannya (Susilo dkk., 2017). Nilai resistivitas batuan yang bersifat dangkal digunakan untuk menginterpretasikan struktur geologi, kondisi serta kondisi hidrologi bawah permukaan, seperti keberadaan kedalaman dan ketebalan dari lapisan akuifer (Ebong *et al.*, 2021). Metode ini menggunakan konfigurasi *schlumberger* yang mampu untuk menggambarkan sebaran lapisan akuifer di bawah permukaan (Nainggolan dkk., 2024).

Metode VES adalah teknik yang digunakan untuk mempelajari variasi nilai resistivitas (Febriana dkk., 2017). Nilai resistivitas menggambarkan lapisan batuan di bawah permukaan secara vertikal (Welayaturromadhona dkk., 2022). Setiap lapisan batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda tergantung pada sifat konduktivitas suatu material (Suhendra

dkk., 2023). Nilai resistivitasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Konfigurasi *Schlumberger* menerapkan empat buah elektroda yang dibagi menjadi dua yaitu elektroda potensial dan elektroda arus, dengan formasi jarak elektroda arus lebih besar dari pada jarak elektroda potensial (George dkk., 2015). Formasi elektroda konfigurasi *Schlumberger* terlihat pada Gambar 1.

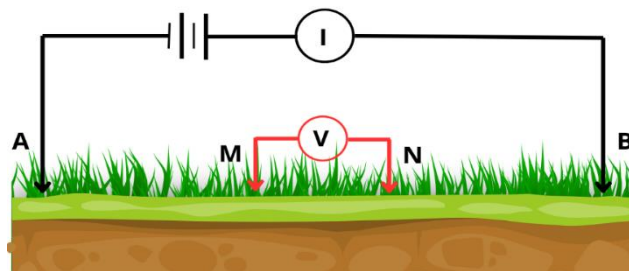
Gambar 1 memperlihatkan cara pemasangan elektroda di lapangan. Elektroda MN merupakan elektroda potensial sedangkan elektroda AB sebagai elektroda arus (Paembonan, 2021). Cara

pengukurannya dilakukan dengan mengubah jarak antara elektroda secara bervariasi yang dimulai dari yang terkecil hingga terbesar, dan dilakukan secara bertahap (Prasetya & Widjayanti, 2023). Semakin besar perbedaan jarak antara setiap elektroda maka semakin dalam kedalaman yang dapat diukur (Rizka & Satiawan, 2019). Konsep konfigurasi *Schlumberger* dimana jarak antara elektroda MN divariasikan sedangkan AB dibuat menjadi tetap. Ketika jarak A dan B divariasikan maka elektroda M dan N juga ikut menyesuaikan tidak kurang dari $\frac{1}{5}$ dari jarak A dan B (Usman dkk., 2017).

Tabel (Table) 1. Nilai Resistivitas (*Resistivity Value*)

No	Tipe batuan dan mineral (<i>Rock and mineral types</i>)	Resistivitas (<i>Resistivity</i>) ($\Omega.m$)
1	Water (Air)	1-100
2	Bedrock (Batuan dasar)	300-900
3	Sea water (Air laut)	0,2
4	Clay (Lempung)	1-100
5	Brackish water/swamp water (air rawa/Air payau)	0,3-5
6	Sand (Pasir)	1-600
7	Passive gravel (Krikil Pasiran)	100-150
8	Alluvium (Alluvium)	40-400
9	Gravel (Kerikil)	100-600
10	Surface Water (Air Permukaan)	$30-3 \times 10^3$
11	Conglomerate (Konglomerat)	$2 \times 10^3 - 10^4$
12	Sandstone (Batu pasir)	$1-6.4 \times 10^8$

Sumber (*Source*): (Telford, dkk.,1990)



Gambar (Figure) 1. Konfigurasi Schlumberger (*Schlumberger Configuration*)

Sumber (*Source*): Dimodifikasi dari Maghribi, 2023 (Modified from Maghribi, 2023)

Metode interpolasi merupakan teknik estimasi atau pendugaan nilai suatu titik dari suatu himpunan data yang telah diketahui (Vina dkk.,2024). Penelitian sebelumnya oleh Maghribi (2023) menyatakan bahwa metode VES efektif dalam mendeteksi zona air bawah tanah dangkal di sekitar DDTs Kota Bengkulu, sebagai bagian dari studi untuk meningkatkan sistem penyediaan air. Pemodelan VES mengidentifikasi kondisi bawah permukaan yang terdiri dari dua hingga lima lapisan dengan akuifer berada di lapisan yang berbeda-beda. Zona air tanah yang signifikan ditemukan di wilayah ini, dengan resistivitas berkisar antara 1 – 80 Ω .m yang menurun dari lapisan tanah penutup ke batuan dasar. Namun dari penelitian tersebut belum secara keseluruhan mengeksplorasi adanya sebaran akuifer dan keterkaitan akuifer dengan DDTs sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

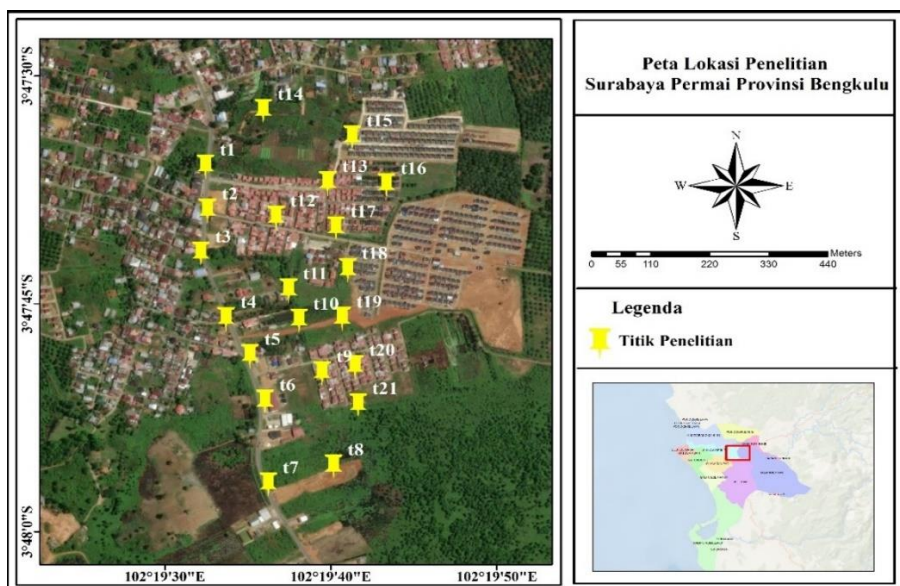
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat model 3D sebaran akuifer dan keterkaitan akuifer dengan DDTs di Geowisata Danau Dendam Tak Sudah Kota Bengkulu menggunakan Metode VES konfigurasi *Schlumberger*.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

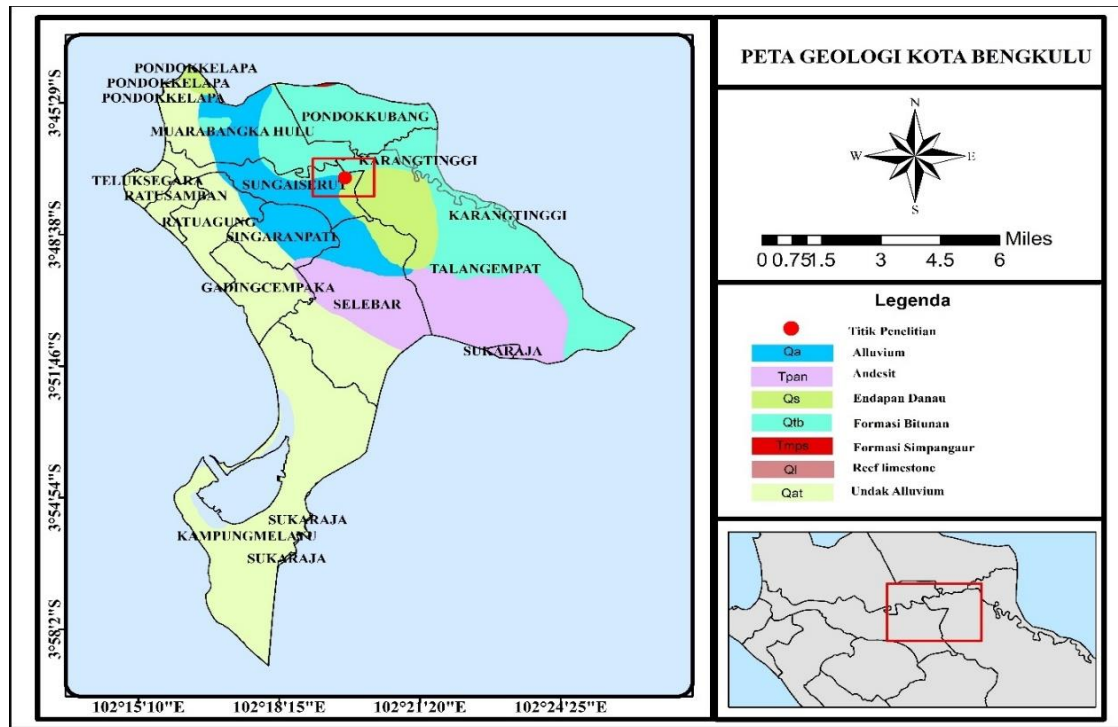
Pengambilan data lapangan dilakukan pada 12 Oktober 2024 di hulu DDTs pada Kelurahan Surabaya, Kecamatan Sungai Serut, Kota Bengkulu yang berada pada koordinat 3°47'27.6"LS -102°19'37.2"BT. Akuisisi data dilakukan pada 21 titik VES dengan jarak antara elektroda 100-200 m yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Kota Bengkulu mempunyai formasi geologi utama: Alluvium (Qa), Andesit (Tpan), Endapan Danau (Qs), Formasi Bintunan (QTb), *Reef Limestone* (batu gamping terumbu) (Ql), Formasi Simpangaur (Tmps) dan Undak Alluvium (Qat) seperti pada Gambar 3.



Gambar (Figure) 2. Lokasi Titik Pengukuran VES (VES measurement locations)

Sumber (Source): BIG (2024) Google Earth dan Arcgis 10.4



Gambar (Figure) 3. Peta Geologi Kota Bengkulu (*Geological map of Bengkulu City*)

Sumber (Source): BIG (2024) Google Earth dan Arcgis 10.4

Wilayah bagian barat Kota Bengkulu terdapat Formasi Undak Aluvium dan Aluvium yang secara umum terdiri dari penyusun yang sama, yaitu kerikil, lanau, pasir, dan lempung. Perbedaan secara material yaitu alluvium terdiri dari kerakal, sedangkan undak alluvium relatif lebih halus. Wilayah timur bagian tengah hingga ke utara Kota Bengkulu ditemukan Formasi Endapan Danau (Qs) yang didominasi oleh Formasi Bintunan (Qtb). Formasi Bintunan tersusun dari batuan lempung tufaan, batu apung, batu konglomerat, dan batu gamping terumbu. Formasi endapan danau dapat dikategori sebagai tanah yang lunak karena susunan lapisannya mirip dengan alluvium yang mengandung sisa sisa tumbuhan. Sementara itu di wilayah tengah ditemukan Formasi Batu Andesit. Batu andesit tersebut adalah

batuan beku vulkanik dengan tipe ekstrusif (Sugianto dkk., 2016).

Pada Gambar 3 terletak kotak merah yang menunjukkan lokasi penelitian yang berada di Kelurahan Surabaya dan secara geologis tersusun oleh Formasi Alluvium (Qa) dan sebagian besarnya adalah Formasi Endapan Danau (Qs).

B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah alat Geolistrik MAE X612-EM VHR *Multi-Channel Resistivimeter* (Gambar 4), sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah *software progress* versi 3.0, *software strater* versi 5, *software IP2WIN*, *software surfer* versi 28, *software ArcGis* (ArcMap) versi 10.4, dan *google earth*.



Gambar (Figure) 4. Alat MAE X612-EM VHR Multi-Channel Resistivitymeter (MAE X612-EM VHR Multi-Channel Resistivitymeter Tools)

Sumber (Source): Dokumentasi Lab Fisika FMIPA Universitas Bengkulu, 2024 (Documentation of Physics Lab FMIPA Bengkulu University, 2024)

C. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Kelurahan Surabaya, Kecamatan Sungai Serut, Kota Bengkulu. Pengukuran menggunakan metode geolistrik VES dengan konfigurasi *Schlumberger*. Jumlah data yang diambil sebanyak 21 titik *sounding* seperti desain penelitian pada Gambar 1 dengan asumsi sudah mewakili daerah *recharge area*.

Akuisisi data dilakukan menggunakan satu Set Geolistrik *Resistivity* yang terdiri dari empat buah elektroda. Elektroda tersebut dibagi menjadi dua jenis, yaitu elektroda potensial dan elektroda arus. Elektroda arus yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik ke dalam tanah, sedangkan elektroda potensial digunakan untuk mengukur beda potensial. Kabel

penghubung digunakan untuk menghubungkan elektroda arus dan elektroda potensial dengan kabel resistivitas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem ini dilengkapi dengan alat bernama *accumulator* (Aki) sebagai sumber daya arus searah DC (*Direct Current*) untuk memperoleh nilai kuara arus, beda potensial dan resistivitas batuan pada lapisan bawah permukaan.

Untuk mengolah data digunakan beberapa *software* yaitu *software Progress* versi 3.0, *software Strater* versi 5, *software IP2WIN*, *software Surfer* versi 28, *software ArcGis* (ArcMap) versi 10.4, dan *Google Earth*. *Software ArcGis* (ArcMap) versi 10.4 dan *Google Earth* digunakan untuk membuat peta penelitian dan peta geologi. Setelah

data didapatkan kemudian diolah dengan menggunakan *progress 3.0* dan diinversi *modelling* sampai menemukan nilai RMS minimal (*Root Mean Square*) < 5%. Untuk memperoleh penampang 1D digunakan *software Strater* versi 5 untuk mengilustrasikan jenis batuan berdasarkan nilai resistivitas di penampang 1D. Selanjutnya data penelitian ini dapat memodelkan 2D dari data lapangan lapisan akuifer berdasarkan nilai resistivitas terhadap kedalaman dengan menggunakan *software IP2WIN* yang terlihat pada Gambar 6, 7 dan 8 (Rafly dkk., 2025). Dari nilai resistivitas pada masing-masing VES, penampang 2D direkonstruksi menjadi model 3D menggunakan *Software Surfer* versi 28.

Nilai kedalaman yang diperoleh tetap akan sama meskipun terdapat perbedaan jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial, karna kedalaman titik pengukuran resistivitas batuan dipengaruhi oleh jarak antar elektroda tersebut (Tio dkk., 2022). Persamaan 1 dapat digunakan untuk menghitung resistivitas batuan (Kirsch, 2006).

$$\rho = K \frac{V}{I} \quad (1)$$

Diketahui: ρ merupakan resistivitas dengan satuan $\Omega \cdot m$, V merupakan beda potensial dengan satuan V (*Volt*), K adalah faktor geometri dengan satuan m (meter), sedangkan I untuk *ampere* (arus listrik). Persamaan 2 merupakan

faktor geometri (K) untuk konfigurasi *Schumberger* (Kirsch, 2006).

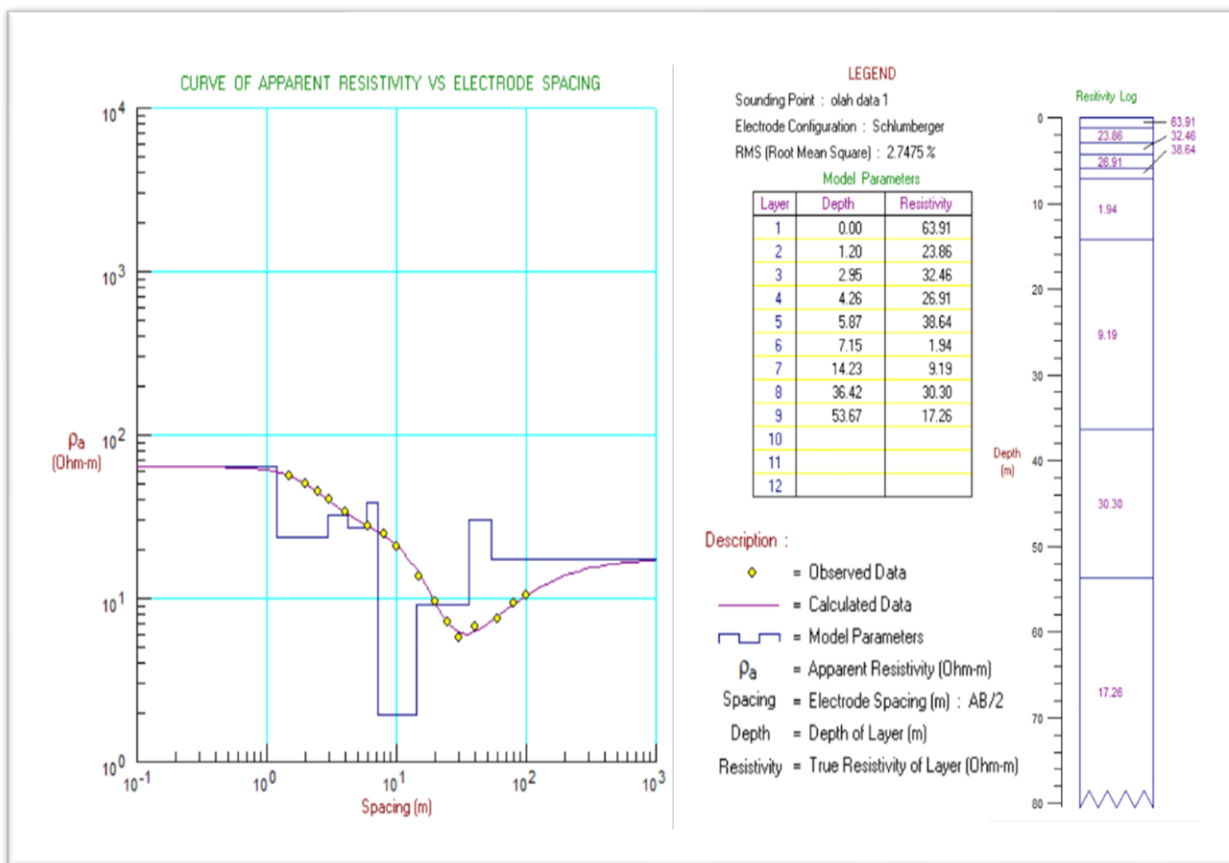
$$K = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2)$$

Diketahui: MN merupakan jarak elektroda potensial, AB merupakan jarak elektroda arus, dan K adalah faktor geometri yang memiliki satuan meter.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampang *resistivity log* 1D dengan kedalaman 80 meter menunjukkan variasi nilai resistivitas yang menggambarkan perbedaan batuan pada tiap lapisan bawah permukaan. Hasil dari pengolahan data tersebut dihasilkan nilai resistivitas batuan antara $1,5 \Omega \cdot m$ – $150 \Omega \cdot m$ yang terlihat pada Gambar 5.

Resistivity log 1D memperlihatkan lapisan batuan berdasarkan nilai tahanan jenis dengan ketebalan yang berbeda-beda dan selanjutnya dilakukan interpretasi untuk mengetahui keberadaan lapisan akuifer yang berada di daerah penelitian. Berdasarkan nilai resistivitas pada Tabel 1 (Telford, dkk.,1990) dapat diklasifikasikan litologi batuan di setiap titik VES yang ditunjukan pada Tabel 2 sehingga dapat diketahui jenis lapisan bawah permukaan terdiri dari *top soil*, *clay* (lempung), *clay shale* (lempung serpihan), kerikil pasir (sandy gravel), dan air tanah (*groundwater*). Lapisan pada akuifer memiliki ketebalan dan kedalaman yang berbeda-beda pada setiap titik VES seperti pada Tabel 3



Gambar (Figure) 5. Kurva resistivitas VES 1D titik 1 (Resistivity curve of 1D VES point 1)

Sumber (Source): Analisis data Menggunakan Progress versi 3.0 (Data analysis Using Progress version 3.0, 2024)

Tabel (Table) 2. Klasifikasi jenis material di daerah penelitian dari pengolahan data *progress* versi 3.0 (Classification of material types in the study area from *progress* version 3.0 data processing)

No	Jenis material (material type)	Resistivitas (resistivity) ($\Omega\text{.m}$)
1	Top Soil	70 – 100
2	Lempung (clay)	30 – 50
3	Lempung serpihan (clayshale)	19 – 30
4	kerikil pasiran (Passive gravel)	100 – 150
5	Air tanah (groundwater)	1 - 19

Gambar 6 menunjukkan *resistivity log* 1D yang dihasilkan dengan menggunakan *software Strater* versi 5 untuk mengilustrasikan litologi batuan berdasarkan nilai resistivitas. Model yang diperoleh dari pengolahan data menggunakan *software Progress* versi 3.0 menggambarkan lapisan litologi batuan berdasarkan nilai resistivitas. Lapisan

batuan setelah diinterpretasi berdasarkan kondisi geologi dan nilai resistivitas pada Tabel 1 dapat dilihat pada Gambar 6. Masing-masing titik *sounding* terdiri dari *top soil*, lempung (*clay*), lempung serpihan (*clay shale*), kerikil pasiran (*passive gravel*), dan air tanah (*akuifer/groundwater*).

Tabel (Table) 3. Ketebalan dan kedalaman Akuifer di 21 titik *sounding* dari hasil pengolahan data *progress* versi 3.0 (*Aquifer thickness and depth at 21 sounding points from the results of Pogrress data processing version 3.0*)

Titik VES (VES Points)	Kedalaman Akuifer (Depth of Aquifer) (m)	Ketebalan Akuifer (Aquifer Thickness) (m)	Resistivitas (<i>resistivity</i>) (Ω .m)	RMS (%)
1	7-35 & 54-80	28 & 26	1,94-9,19 & 17,26	2,7475
2	5,5-80	74,5	2,43-5,71	3,2880
3	2,5-80	77,5	4,82-12,61	3,5602
4	1,5-80	78,5	2,66-11,46	4,5591
5	4-80	76	2,09-13,69	3,5534
6	9-80	71	5,17-9,69	4,3580
7	2-4 & 17-80	2 & 63	13,48 & 6,59-9,71	4,5457
8	8-36	28	5,88-8,94	4,5996
9	8-80	72	5,90-15,43	3,9746
10	9,5-80	70,5	9,87-17,43	3,2983
11	2,5-80	77,5	2,31-7,94	3,7546
12	1-17	16	8,84-14,92	4,0840
13	1,5-4,5 & 7-16 & 36-80	3 & 9 & 44	11,74-15,89 & 6,43-9,79 & 7,52-18,34	2,8875
14	8-16 & 35-80	8 & 45	4,07 & 7,51-14,41	3,8741
15	1-54.5	53	3,81-14,45	2,8770
16	2-53	51	6,77-17,12	3,7803
17	1-35	34	5,13-18,11	4,3318
18	2-80	72	3,95-12,91	3,9483
19	2-12	10	5,58-19,88	3,8508
20	1-80	72	4,09-16,90	2,4712
21	1,5-2,5 & 8,5-18 & 36-80	1 & 9,5 & 44	16,4 & 3,17 & 4,06-11,01	3,6373

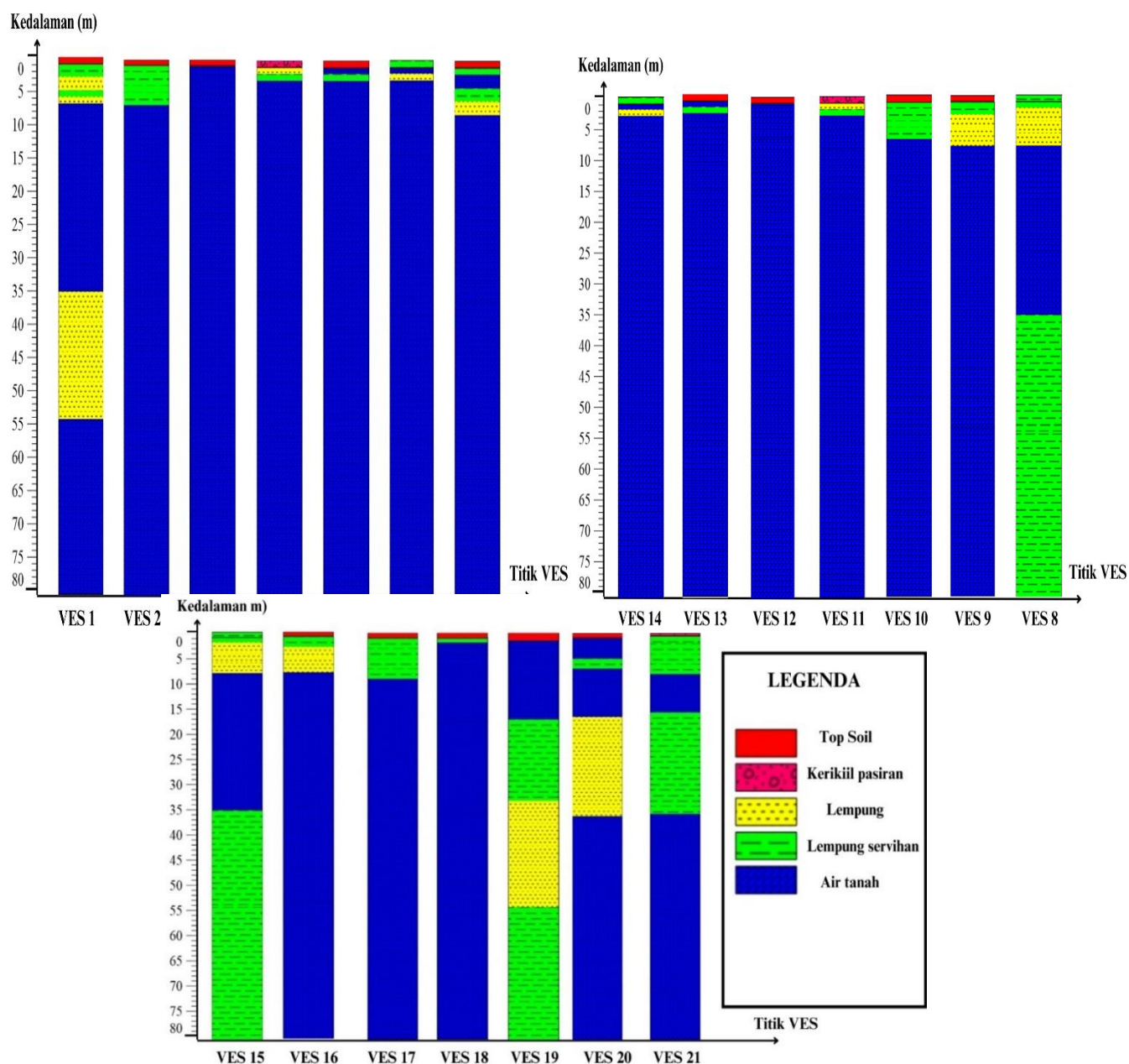
Sumber (Source): Analisis hasil data *progress* versi 3.0 (*Data analysis Using Progress version 3.0, 2024*)

Keterangan (Remarks): Hasil pengolahan data VES dari *progress* versi 3.0 (*VES data processing results from Progress version 3.0*)

Berdasarkan model 2D yang diperoleh dari *software* IP2Win yang menunjukkan nilai resistivitas sesungguhnya setelah data di lapangan diinversi, diperoleh seperti pada Gambar 7 (a), 7 (b), dan 7 (c).

Pada Gambar 7 (a) model 2D, seluruh titik VES menunjukkan adanya sebaran akuifer, dengan didominasi pada titik VES 1 dan titik VES 7. Kedalaman akuifer bekisar antara 2 m – 80 m dengan nilai resistivitas

4.19 Ω .m – 17,5 Ω .m. Nilai resistivitas untuk lapisan lempung berkisara antara 19.1 Ω .m – 61.8 Ω .m, yang mengindikasikan sifat permeabel. Selain nilai resistivitas di bawah 1 Ω .m diidentifikasi sebagai air permukaan atau air rawa, sedangkan nilai resistivitas di atas 300 Ω .m menunjukkan adanya batuan dasar (*bedrock*).



Gambar (Figure) 6. Log resistivity 1D Penampang litologi batuan di titik sounding (1D resistivity log Cross section of rock lithology at sounding points)

Sumber (Source): Analisis data log 1D Strater versi 5 (Strater version 5 1D log data analysis, 2024)

Gambar 7 (b) menunjukkan hasil model 2D yang memperlihatkan bahwa pada titik VES 12 dan titik VES 13 tidak memiliki sebaran akuifer. Namun titik VES lainnya menunjukkan sebaran akuifer yang didominasi oleh titik VES 9, VES 11 dan VES 14. kedalaman akuifer tersebt berkisar

2 m – 80 m dengan nilai resistivitas 6.05 Ω .m – 17 Ω .m yang dilapisi oleh batuan lempung dan lempung serpihan dengan nilai resistivitas 28.5 Ω .m – 37.9 Ω .m.

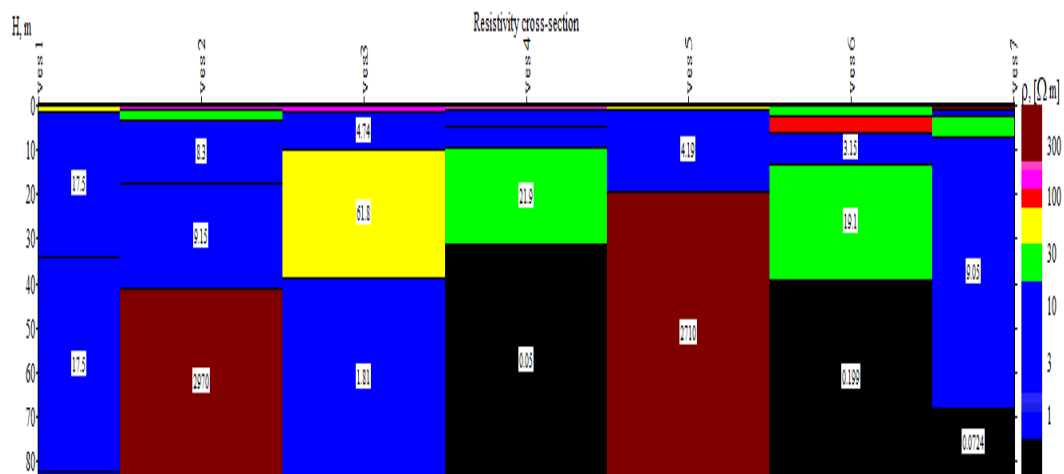
Sementara itu pada Gambar 7 (c) menunjukkan hasil model 2D bahwa pada titik VES 15 dan 21 tidak memiliki sebaran

akuifer, sebaran akuifernya berada pada titik 16,17,18,19 dan 20 dan didominasi oleh titik VES 18 dengan kedalaman akuifer dimulai dari 2 m – 80 m dengan nilai resistivitas 4.26 Ω .m – 16.5 Ω .m dan di lapisi oleh batuan lempung dan lempung serpihan yang memiliki nilai resistivitas 21.4 Ω .m – 40.9 Ω .m.

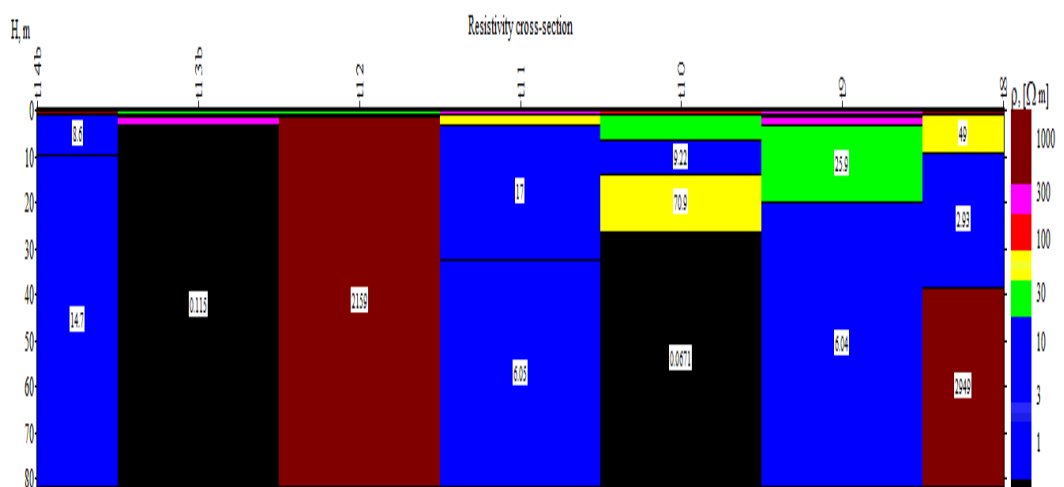
Dari model 2D direkonstruksi menjadi model 3D menggunakan *Software Surfer* versi 28. Terlihat pada Gambar 8 (a) yang terdiri dari tiga lintasan dan 21 titik VES di daerah penelitian. Keterkaitan sebaran

akuifer di daerah penelitian dengan daerah DDTS ditunjukkan pada Gambar 8 (b).

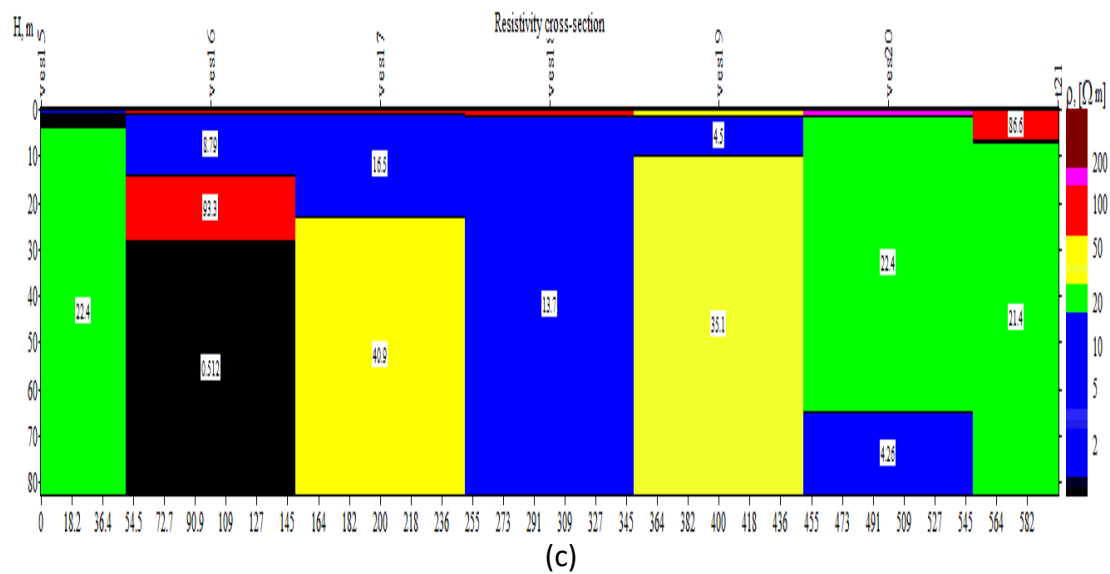
Pada Gambar 8 (b) model 3D yang didapatkan dari kontruksi model 2D dengan nilai resistivitas menunjukkan adanya sebaran lapisan akuifer dangkal dengan kedalaman 1,5 – 25 m sehingga dapat direkomendasikan kepada masyarakat untuk membuat sumur gali dan juga terdapat lapisan akuifer dalam dengan kedalaman > 25 m yang bisa direkomendasikan untuk pembuatan sumor bor pada titik VES 1, 9,14 dan 18.



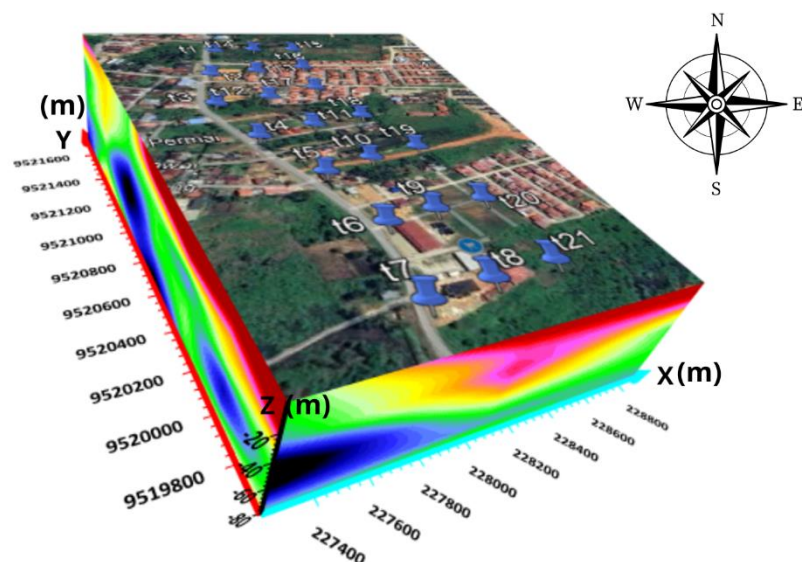
(a)

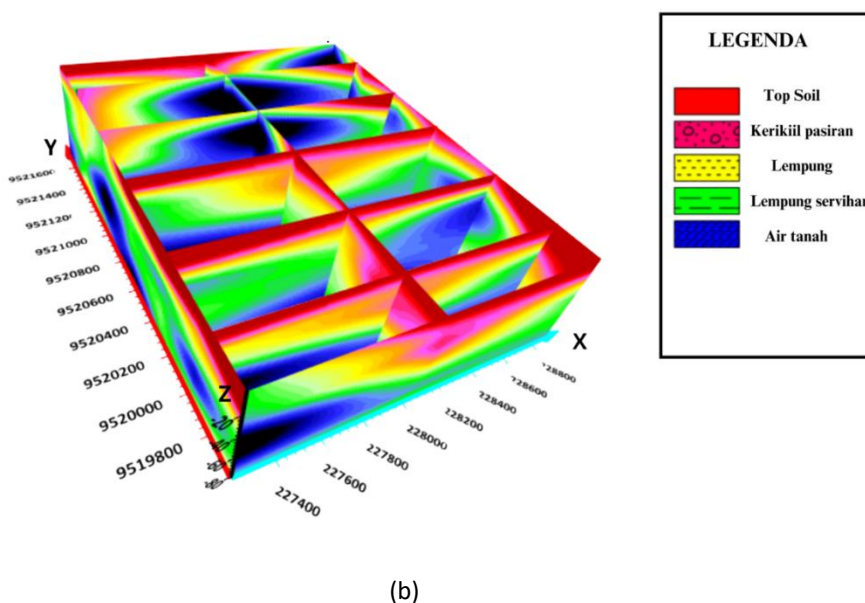


(b)



Gambar (Figure) 7. Model 2D lapisan akuifer berdasarkan nilai resistivitas (a) titik sounding 1 - 7, (b) titik sounding 8 – 14, (c) titik sounding 15 -21 (2D model of aquifer layer based on resistivity value (a) sounding point 1-7, (b) sounding point 8-14, (c) sounding point 15-21)
Sumber (source): Analisis data menggunakan IPI2win (Data analysis using IPI2win, 2024)





Gambar (Figure) 8. Model 3D Lapisan Akuifer di Hulu Danau Dendam Tak Sudah Kota Bengkulu (*3D Model of Aquifer Layers at the Upstream of Dendam Tak Sudah Lake, Bengkulu City*)

Sumber (Source) 8. Analisis data menggunakan Surfer versi 28 (Data analysis using Surfer version 28, 2024)

Model 3D sebaran lapisan akuifernya terlihat pada titik *sounding* 1 dan 2 di sisi barat yang berdekatan dengan Danau Dendam Tak Sudah dan mempunyai kedalaman akuifer antara 1,5 – 80 m yang dialiri dari titik VES 9, 11, 14 dan 18. Lapisan dengan ketebalan paling tipis ada di titik *sounding* 1, dimana air tanah tersebut mengalir dari sisi timur ke sisi barat menuju mendekat danau. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi topografi dimana daerah penelitian lebih tinggi dibandingkan DDTS sehingga membuat akuifer pada titik VES 18 mengalir ke titik VES 11 dan 13, hingga ke titik VES 1 dan 2. Berdasarkan kondisi geologi dan data lapangan dapat diketahui bahwa ada keterkaitan akuifer dengan danau dimana akuifer yang mengalir atau mengisi air ke DDTS.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil survei geolistrik menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi *Schlumberger* di 21 titik VES di kawasan hulu Danau Dendam Tak Sudah (DDTS), telah diidentifikasi keberadaan akuifer dangkal dengan kedalaman < 20 m dan akuifer dalam dengan kedalaman > 25 m dengan ketebalan yang bervariasi antara 1,5 – 78,5 m. Nilai resistivitas 1,5 – 19 $\Omega.m$ merepresentasikan air tanah yang dilapisi oleh lapisan lempung (clay) dan serpihan lempung (clay shale) yang bersifat permeable (19.1 $\Omega.m$ – 61.8 $\Omega.m$). Hasil interpretasi menunjukkan bahwa sebaran akuifer tidak merata, namun akuifer ditemukan lebih dominan pada titik VES 1, 9, 14, dan 18. Model 3D sebaran akuifer yang telah direkonstruksi dari data resistivitas dan kontur topografi menggambarkan arah pergerakan air tanah dari sisi timur menuju sisi barat mendekati

DDTS. Pola ini mengidentifikasi keterhubungan/keterkaitan lapisan akuifer bawah permukaan dengan keberadaan air di DDTS, memperkuat indikasi hubungan hidrologi antara keduanya.

Hasil penelitian ini mendukung tujuan awal studi, yaitu memetakan sebaran dan arah aliran air tanah di wilayah geowisata DDTS. Namun demikian, agar temuan ini juga dapat menjadi dasar penting dalam upaya perencanaan, pengelolaan, dan pelestarian sumber daya air tanah secara berkelanjutan di kawasan tersebut, butuh divalidasikan dengan jumlah data yang lebih banyak atau menggunakan analisa dengan konfigurasi yang lain seperti *Dipole-pole/Wenner-Schalumberger*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih Penulis ucapkan untuk semua pihak yang berkontribusi dalam penelitian ini serta kepada Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu yang telah memfasilitasi dan tidak lupa kepada Program Studi Geofisika Universitas Bengkulu memberikan bantuan dana untuk projek independen penelitian ini.

KONTRIBUSI

Intan gayatriani selaku penulis pertama bertugas untuk merencanakan tema penelitian, mengolah data dan menyusun artikel hingga selesai dan sebagian besar pengolahan data dibantu oleh Sendiya verentina. Usman gumanty bertugas untuk membuat peta. marven saputra bertugas untuk pengambilan data di lapangan. Sementara Suhendra S.si.,M.T sebagai pembimbing yang melakukan evaluasi serta perbaikan dalam penulisan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andas, J., Maiyudi, R., & Yulhendra, D. (2020). Identification of Ground Water Using the Wenner-Schlumberger Configuration Method in Nagari Ranah Pantai Cermin. *Journal of Physics: Conference Series*, 1594(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1594/1/012039>
- Arini, E., Astuti, B., & Sismanto, A. (2021). Strategi Peningkatan Kunjungan Wisatawan Ke Danau Dendam Tak Sudah Kota Bengkulu. *BALANCE: Economic, Business, Management and Accounting Journal*, 18(1), 20. <https://doi.org/10.30651/blc.v18i1.6409>
- Djana, M. (2023). Analisis Kualitas Air Dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Di Kecamatan Natar Hajimena Lampung Selatan. *Jurnal Redoks*, 8(1), 81–87. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i1.1853>
- Ebong, E. D., Abong, A. A., Ulem, E. B., & Ebong, L. A. (2021). Geoelectrical Resistivity and Geological Characterization of Hydrostructures for Groundwater Resource Appraisal in the Obudu Plateau, Southeastern Nigeria. *Natural Resources Research*, 30(3), 2103–2117. <https://doi.org/10.1007/s11053-021-09818-4>
- Febriana, R. K. N., Minarto, E., & Tryono, F. Y. (2017). Identifikasi Sebaran Aliran Air Bawah Tanah (Groundwater) dengan Metode Vertical Electrical. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(2), 6–10. Retrieved from https://ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/25280
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology 4th Edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2, 8.

- Fitrianto, T. N., Supriyadi, S., Taufiq, U. A., Mukromin, T. M., & Wardana, A. P. (2018). Identifikasi Potensi Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger di Kelurahan Bapangsari Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo. *Jurnal Fisika FLUX*, 15(2), 100. <https://doi.org/10.20527/flux.v15i2.4954>
- George, N. J., Emah, J. B., & Ekong, U. N. (2015). Geohydrodynamic properties of hydrogeological units in parts of Niger Delta, southern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 105(March 2015), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.02.009>
- Hindersah, R. S. dan R. (2009). *BENGKULU*. 198–210.
- Irawan, L. Y., Arinta, D., Panoto, D., Pradana, I. H., Sulaiman, R., Nurrizqi, E., & Prasad, R. R. (2022). Identifikasi karakteristik akuifer dan potensi air tanah dengan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di Desa Arjosari, Kecamatan Kalipare, Kabupaten Malang. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 27(1), 102–116. <https://doi.org/10.17977/um017v27i12022p102-116>
- Khalik, I., Asep, S., Sigid, H., Elisa, A., Penyembuhan, H., & Mardiani. (2023). *Penelitian Asli Studi Status Kualitas Air Sungai Dendam Tak Sudah Lake in Bengkulu City , Indonesia : 2(2)*, 1633–1643.
- Lu, Z., Zhang, J., Yan, D., Li, C., & Lei, G. (2025). Journal of Hydrology : Regional Studies Quantitative study of the impact of land use change on groundwater level in the Songnen Plain , China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 59(May), 102452. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102452>
- M. Tio, F., Yunita, A., Bernaldi, R., & Sugianto, N. (2022). Soil Porosity Conditions in Flood-Prone Areas of the Prosperous Swamp of Bengkulu City Based on Geoelectrical Measurement. *Gravitasi*, 21(1), 1–4. <https://doi.org/10.22487/gravitasi.v21i1.15813>
- Maghribi, F. B., Refrizon, R., Suhendra, S., Fadli, D. I., Halauddin, Idris, B. S., ... Putriani, E. (2023). Investigation of Subsurface Groundwater Using the Ves Method Around Dendam Lake, Bengkulu City, Indonesia. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 8(2), 105–120. <https://doi.org/10.21009/spektra.082.04>
- Nainggolan, B. F. G., Paembonan, A. Y., & Farduwin, A. (2024). *Penerapan Metode Vertical Electrical Sounding (Ves) Dalam Penentuan Kedalaman Akuifer Di Kelurahan Sukarame Application of Vertical Electrical Sounding (Ves) Method To Determining the Depth of Aquifer in Sukarame Subdistrict*. 10(01), 24–36. Retrieved from doi.org/10.23960/jge.v9i2.343
- Nuraini, F., Siregar, A. suryani, Arum, D. S., & Suhendra. (2022). Pendugaan Air Tanah Menggunakan Metode Tahanan Jenis di Kelurahan Kandang Limun, Kota Bengkulu. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(2), 65–70. <https://doi.org/10.33369/nmj.v3i2.24078>
- Oloruntola, M. O., Adeyemi, G. O., Bayewu, O., & Obasaju, D. O. (2019). Hydro-geophysical mapping of occurrences and lateral continuity of aquifers in coastal and landward parts of Ikorodu, Lagos, Southwestern Nigeria. *International Journal of Energy and Water Resources*, 3(3), 219–231.

- <https://doi.org/10.1007/s42108-019-00026-8>
- Paembonan, A. yadi. (2021). *Investigasi Air Tanah Berdasarkan Nilai Lampung Selatan Groundwater Investigation Based on the Resistivity Value in Jatisari Village , South. 07(02)*, 100–110.
- Pico Pudiansa, Rokky Gumanti, Muhammad Melian, Reflis, R., & Satria Utama. (2024). Penurunan Debit Air Danau Dendam Tak Sudah untuk Irigasi Persawahan Setelah Perubahan Status Cagar Alam Menjadi Taman Wisata Alam. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(3), 255–261. <https://doi.org/10.55123/insologi.v3i3.3477>
- Prasetya, D., & Widjayanti, R. Y. (2023). Identifikasi Lapisan Akuifer Dangkal Berdasarkan Model 2D Dan 3D Resistivitas Di Desa Sukmajaya, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Buletin Mtereologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, 4(5), 22–37.
- Rafly, T. Al, Hadi, A. I., Rahmat, A., Ansory, A., & Raihana, H. (2025). *Ulasan Fisika Bahasa Indonesia. 08(c)*, 1–16.
- Rizka, & Satiawan, S. (2019). Investigasi Lapisan Akuifer Berdasarkan Data Vertical Electrical Sounding (VES) dan Data Electrical Logging; Studi Kasus Kampus ITERA. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 17(2), 91–100. Retrieved from <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
- Sedana, D., As'ari, A., & Tanauma, A. (2015). Pemetaan Akuifer Air Tanah Di Jalan Ringroad Kelurahan Malendeng Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *Jurnal Ilmiah Sains*, 15(1), 33. <https://doi.org/10.35799/jis.15.1.2015.6778>
- Sudarta. (2022). *Dampak Kerusakan Kawasan Cagar Alam Danau Dusun Besar terhadap Aspek Sosial Ekonomi Petani Di Sekitar Danau Dendam Tak Sudah Kota Bengkulu.*
- Sugianto, N., Farid, M., & Suryanto, W. (2016). Local geology condition of Bengkulu city based on seismic vulnerability index (Kg). *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7), 4797–4803.
- Suhendra, S., Budianto, G., Halaudidin, H., & Lidiawati, L. (2023). (2023). Identifikasi Akuifer Di Daerah Rawan Banjir Dengan Metode Vertical Electrical Sounding Di Kecamatan Muara Bangkahulu (Identification of Aquifers in Flood-Prone Areas using the Vertical Electrical Sounding Method in Muara Bangkahulu sub-district). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Vol. 7(I)*, 23–40.
- Susilo, A., Sunaryo, Isdarmadi, K., & Rusli. (2017). Investigation of Jabung Temple subsurface at Probolinggo, Indonesia using resistivity and geomagnetic methods. *International Journal of GEOMATE*, 13(40), 74–80. <https://doi.org/10.21660/2017.40.39246>
- Tampubolon, A. C. E., Yanmesli, Y., & Utami, A. D. (2023). Potensi Geografi Danau Dendam Tak Sudah Sebagai Objek Wisata Kota Bengkulu. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 8(1), 68–71. <https://doi.org/10.32663/georaf.v8i1.4011>
- Telford, W. M., & Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). CambridgeUniversity Press, 4. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932%0ATheon>,

- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology 3rd. Edition. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.*, pp. 645–645.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_72667
- Usman, B., Manrulu, R. H., Nurfalaq, A., & Rohayu, E. (2017). Identifikasi Akuifer Air Tanah Kota Palopo Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger. *Jurnal Fisika FLUX*, 14(2), 65.
<https://doi.org/10.20527/flux.v14i2.4091>
- Vina Wulandari, Romla Noor Hakim, & Hafidz Noor Fikri. (2024). Analisis Interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW) dan Ordinary Kriging (OK) untuk Estimasi Volume Batubara di Area. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 7(1).
- Welayaturromadhona, W., Saputri, E. E. D., Sakura, R. R., & Kusumadewi, T. V. (2022). Identifikasi Potensi Air Tanah dengan Metode Geolistrik: Studi Kasus di Desa Sumberpakem Kabupaten Bondowoso. *JPPM (Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat)*, 6(1), 121.
<https://doi.org/10.30595/jppm.v6i1.7033>

STRATEGI PENGELOLAAN AGROFORESTRI DUSUNG BERKELANJUTAN DI DAS WAI BATU GAJAH: PENDEKATAN BERBASIS SWOT

*(Sustainable Dusung Agroforestry Management Strategy in the Wai Batu Gajah
Watershed: A SWOT-Based Approach)*

Angela Martha Rettob¹, Regan Leonardus Kaswanto^{2,*}, dan Efi Yuliati Yovi³

¹Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana
Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat

²Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat

³Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian
Bogor, Jawa Barat

*Email: kaswanto@apps.ipb.ac.id

Diterima: 14 Februari 2025, Direvisi : 1 Agustus 2025, Disetujui : 19 Agustus 2025

ABSTRACT

As a form of traditional agroforestry, dusung provides numerous benefits regarding ecology, economy, and socio-culture in the Wai Batu Gajah Watershed in Ambon City, Maluku Province. The dusung management system is maintained by the local community and has become their traditional knowledge. It has the potential to support ecosystem sustainability. This research uses a SWOT approach to evaluate the internal and external factors influencing dusung agroforestry management and to develop priority strategies for sustainable management. The research was conducted in the upper part of the Wai Batu Gajah Watershed from September to October 2024. Data were collected through Focus Group Discussion (FGD) involving eight key informants representing the government sector, local communities (dusung owners), academics and religious leaders. Additionally, 30 dusung farmers were interviewed. Strategy analysis was carried out quantitatively using IFE, EFE, IE, SWOT, and QSPM matrices. The analysis results show that the internal factors score is 2.874 and the external factor score is 2.831. Therefore, the results of the xy axis combination place the position of dusung agroforestry in quadrant V, at the Hold and Maintain stage. The proposed priority strategy is to increase the effectiveness of strategic land through optimizing productive land, selecting superior seeds, using appropriate technology, and empowering farmers. Implementation of these strategies requires collaboration among the community, government, and private sector to support the sustainable management of dusung agroforestry. This study provides recommendations for policy development that support the sustainability of the Wai Batu Gajah Watershed ecosystem and improve community welfare.

Keywords: agroforestry; dusung; SWOT; Wai Batu Gajah Watershed; sustainability

ABSTRAK

Sebagai salah satu bentuk agroforestri tradisional, *dusung* telah memberikan berbagai manfaat dari segi ekologi, ekonomi, dan sosial budaya di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wai Batu Gajah Kota Ambon, Provinsi Maluku. Sistem pengelolaan *dusung* masih tetap dipertahankan dan menjadi kearifan lokal masyarakat serta memiliki potensi untuk mendukung keberlanjutan ekosistem. Penelitian ini menggunakan pendekatan SWOT untuk menganalisis kondisi internal dan eksternal pengelolaan agroforestri *dusung*, dan merumuskan strategi prioritas pengelolaan yang berkelanjutan. Penelitian ini dilaksanakan di bagian hulu DAS Wai Batu Gajah pada bulan September hingga Oktober 2024. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah *Focus Group Discussion* (FGD) dengan melibatkan delapan informan kunci yang mewakili sektor pemerintahan, masyarakat lokal (pemilik *dusung*), akademisi, dan tokoh agama. Selain itu, dilakukan pula wawancara terstruktur terhadap 30 petani *dusung*. Analisis strategi dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan matriks IFE, EFE, IE, SWOT dan QSPM. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai bobot faktor internal sebesar 2,874 dan faktor eksternal sebesar 2,831, sehingga hasil penggabungan sumbu xy menempatkan posisi agroforestri *dusung* berada pada kuadran V, pada tahapan menjaga dan mempertahankan (*Hold and Maintain*). Strategi prioritas yang diusulkan adalah meningkatkan efektivitas lahan strategis melalui optimalisasi lahan produktif, pemilihan bibit unggul, penggunaan teknologi tepat guna, dan pemberdayaan petani. Implementasi strategi ini membutuhkan kolaborasi antara masyarakat, pemerintah, dan sektor swasta untuk mendukung pengelolaan agroforestri *dusung* secara berkelanjutan. Penelitian ini memberikan rekomendasi bagi pengembangan kebijakan yang mendukung keberlanjutan ekosistem DAS Wai Batu Gajah dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

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

I. PENDAHULUAN

Pulau-pulau kecil, sebagai bagian integral dari ekosistem maritim dan daratan, menghadapi tantangan serius dalam mempertahankan ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS). Berbagai faktor lingkungan dan antropogenik, seperti perubahan iklim, degradasi habitat, dan eksploitasi berlebihan terhadap sumber daya alam, telah mengancam biodiversitas dan keberlangsungan hidup masyarakat yang bergantung pada ekosistem DAS (Prastiyo *et al.*, 2020; Nogué *et al.*, 2021; Reader *et al.*, 2023). Dampak perubahan

iklim, seperti kekeringan, banjir, erosi, dan kenaikan permukaan air laut, semakin memperparah kondisi ini, terutama bagi pulau-pulau kecil di wilayah tropis yang memiliki sumber daya dan daya dukung terbatas serta *catchment area* yang relatif kecil (Almaliki *et al.*, 2023). Akibatnya, pulau-pulau kecil menjadi sangat rentan terhadap bencana alam dan perubahan iklim, sehingga memerlukan upaya konservasi dan adaptasi yang lebih intensif.

DAS Wai Batu Gajah, sebagai representasi ekosistem pulau kecil khususnya Pulau Ambon, memiliki peran

krusial dalam menjaga keseimbangan lingkungan, mendukung perekonomian masyarakat, dan melestarikan nilai-nilai budaya setempat. Namun, dibalik peranannya yang sangat penting, kawasan ini kini dihadapkan pada berbagai tantangan lingkungan yang serius. Globalisasi dan perkembangan teknologi telah mendorong peningkatan kebutuhan manusia, yang berdampak pada perubahan penggunaan lahan yang signifikan (Arifasihati & Kaswanto, 2016). Penelitian Rakuasa *et al.* (2022) menunjukkan peningkatan pesat luas lahan permukiman di DAS Wai Batu Gajah, berbanding terbalik dengan penurunan tutupan lahan pertanian dan nonpertanian. Karena itu, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Ambon saat ini mengkategorikan DAS Wai Batu Gajah sebagai daerah rawan banjir (BPBD Kota Ambon, 2022). Selain banjir, penelitian Talakua & Osok (2017) serta Manakane *et al.* (2023) mengungkap masalah erosi dan sedimentasi yang tinggi di kawasan ini. Tingkat erosi yang mencapai 119,43 ton/ha/tahun dan sedimentasi sebesar 5573,6 mg/liter mengindikasikan terjadinya degradasi lahan yang serius. Kondisi ini diperparah oleh adanya titik-titik longsor yang cukup luas. Berbagai bencana tersebut menunjukkan bahwa DAS Wai Batu Gajah telah mengalami gangguan fungsi hidrologis yang signifikan, yang berdampak pada penurunan kualitas dan debit air.

Agroforestri adalah praktik pengelolaan lahan berkelanjutan yang mengintegrasikan tanaman hutan, tanaman pertanian dan ternak untuk menyediakan berbagai jasa ekosistem

(Paudel *et al.*, 2022) atau jasa lanskap (Kaswanto *et al.*, 2017). Sistem ini menawarkan potensi untuk menyeimbangkan kebutuhan sosial-ekonomi dengan fungsi ekologi, terutama di wilayah DAS. Praktik ini mendukung mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim, pelestarian keanekaragaman hayati, serta pelestarian tanah dan air sekaligus memberikan solusi atas tantangan yang dihadapi petani (Octavia *et al.*, 2022; van Noordwijk *et al.*, 2021; Arifin *et al.*, 2009). Konsep agroforestri telah diterapkan masyarakat pulau kecil dalam berbagai bentuk dan dikenal dengan sebutan berbeda di setiap daerah. Bentuk agroforestri tradisional yang telah lama diterapkan oleh masyarakat Maluku dikenal dengan sebutan *dusung*. Ririhena (2015) menyatakan bahwa *dusung* merupakan hasil dari sistem lahan berpindah (*shifting cultivation*) dengan kepemilikan lahan mengikuti garis keturunan ayah (*patriarchal*) dan merupakan aset *intangible* yang termasuk dalam *indigenous knowledge* dan *indigenous technology*, dengan aturan adat berupa *sasi* dan *kewang* sebagai lembaga adat yang berfungsi untuk menjaga keberlanjutan sistem ekologi dan budaya di pulau-pulau kecil.

Agroforestri *dusung* merupakan salah satu model pembangunan alternatif yang berpotensi sebagai pola konservasi untuk mengatasi permasalahan di DAS Wai Batu Gajah. Penelitian Jacob (2018) menyebutkan, mempertahankan minimal 30% tutupan hutan dalam pengelolaan *dusung* di suatu DAS memberikan manfaat ganda, tidak hanya meningkatkan debit air sebesar 75,66 liter/detik dan mengurangi

erosi hingga 27,62 ton/ha/tahun, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan petani *dusung* melalui peningkatan pendapatan. Konsep *dusung* cukup menjanjikan, namun pengelolaannya belum optimal. Berdasarkan *preliminary research* dan studi literatur ditemukan bahwa ada beberapa hambatan dalam pengelolaan agroforestri *dusung* seperti: 1) kurangnya pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam pengelolaan *dusung*, 2) akses yang sulit, 3) rendahnya produktivitas *dusung* dan pendapatan petani, 4) adanya penjualan lahan *dusung*, 5) kurangnya minat generasi muda, 6) terbatasnya sumber daya manusia (SDM) petani, dan 7) kurangnya pendampingan dan penyuluhan tentang agroforestri *dusung*. Sementara itu, Ririhena (2015) dalam penelitiannya menyoroti keberadaan agroforestri *dusung* yang cenderung terabaikan dalam pembuatan kebijakan dan perencanaan, seperti: 1) terbatasnya dukungan kebijakan pemerintah, 2) tidak ada pihak yang merasa berkewajiban untuk merancang kebijakan yang mendukung agroforestri, dan 3) kecenderungan pemilik *dusung* membiarkan *dusung* tanpa perawatan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, agroforestri *dusung* memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan dan pengembangannya sebagai upaya konservasi lingkungan DAS. Meskipun telah banyak penelitian agroforestri di berbagai belahan dunia, masih sedikit yang secara spesifik mengkaji sistem agroforestri tradisional di pulau-pulau kecil, khususnya *dusung*, yang memiliki peran unik dalam menjaga ekosistem DAS yang rentan. Kurangnya strategi pengelolaan yang

terstruktur dan terpadu berpotensi mengancam keberlanjutan *dusung* dan fungsi ekologisnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis secara mendalam kondisi internal dan eksternal agroforestri *dusung* melalui pendekatan *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats* (SWOT) dan *Quantitative Strategic Planning Matrix* (QSPM). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat merumuskan strategi pengelolaan yang inovatif dan dapat diimplementasikan untuk mencapai keberlanjutan agroforestri *dusung* di kawasan DAS pulau kecil.

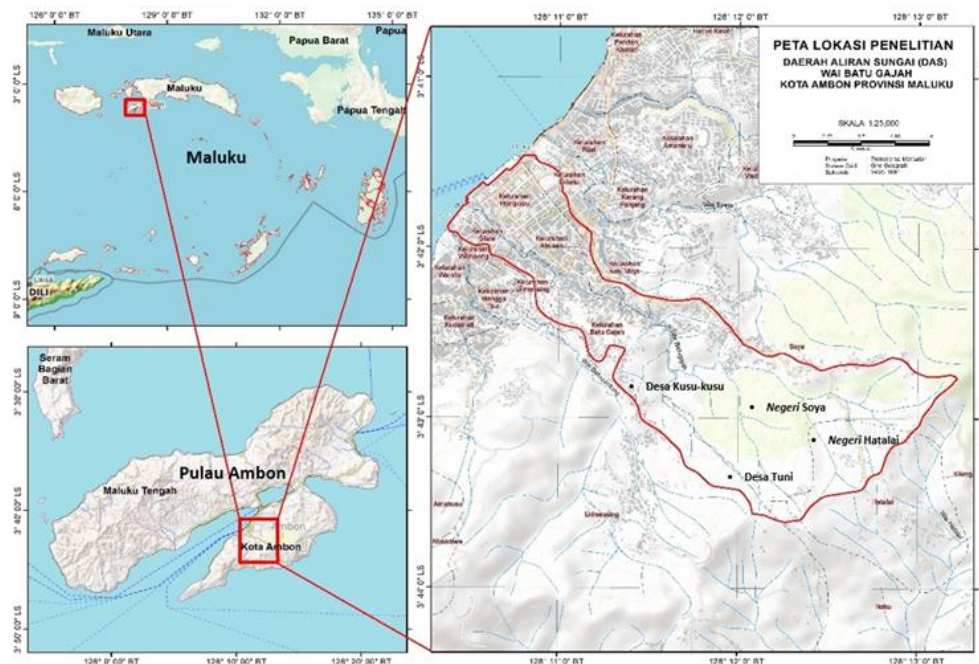
II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada lanskap agroforestri *dusung*, di bagian hulu DAS Wai Batu Gajah, Kecamatan Sirimau, Kota Ambon, Provinsi Maluku (Gambar 1). Penelitian dilakukan di tiga *negeri*, yaitu: Soya, Hatalai, dan Urimessing. Khusus di *Negeri* Urimessing mengambil dua dari empat desa yang berada di dalam kawasan DAS, yaitu Desa Tuni dan Desa Kusu-kusu. Istilah *negeri* merujuk pada desa atau wilayah. *Negeri* adalah suatu persekutuan masyarakat adat baik secara genealogis maupun teritorial yang didasarkan pada adat istiadat dan budaya (Ririhena 2015). Penelitian berlangsung selama dua bulan, yaitu dari September hingga Oktober 2024.

B. Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah komputer dengan *software* ArcGIS 10.8, *Microsoft Office* dan *Microsoft Excel* 2021, alat tulis, kamera



Gambar 1 (Figure 1). Peta Lokasi penelitian DAS Wai Batu Gajah (Map of Wai Batu Gajah Watershed Research Location)

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

handphone serta *hard disk* eksternal untuk penyimpanan data. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu peta dasar, panduan wawancara dan kuesioner. Data primer didapatkan dari *preliminary research* dan hasil *Focus Group Discussion* (FGD).

C. Metode Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini dirancang untuk mendapatkan informasi yang komprehensif mengenai kondisi internal dan eksternal agroforestri *dusung*, yang menjadi dasar perumusan strategi pengelolaan berkelanjutan. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan dua teknik utama yaitu *Focus Group Discussion* (FGD) dan *structured interview*.

1. Focus Group Discussion (FGD)

FGD digunakan untuk analisis strategi secara kualitatif dengan tujuan untuk memperoleh pendapat, penilaian, dan informasi secara spesifik dan sistematis

dari para pakar atau ahli terkait penelitian yang dilakukan (Irwanto, 1998), serta membantu peneliti dalam menyusun dan merumuskan strategi-strategi yang akan digunakan untuk pengelolaan agroforestri *dusung* di kawasan DAS Wai Batu Gajah. Informan kunci yang berperan sebagai tim penilai dalam FGD berjumlah delapan orang, dipilih berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan perspektif yang relevan dengan tujuan penelitian. Kedelapan informan tersebut terdiri dari: 1) empat petani *dusung* yang mewakili setiap *negeri* dan desa, 2) satu Bapa Raja atau Kepala Desa dari *Negeri Soya*, 3) satu perwakilan lembaga adat atau *Kewang* dari *Negeri Hatalai*, 4) satu tokoh agama dari *Negeri Soya*, dan 5) satu akademisi dari Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura Ambon. Jumlah peserta tersebut didasarkan pada jumlah ideal anggota kelompok FGD yang berada pada rentang 7 hingga 11 orang

agar memungkinkan setiap individu untuk mengungkapkan pendapat (Indrizal, 2016).

Proses FGD dilaksanakan dalam dua tahap. Pada tahap pertama, informan diminta memberikan pendapat dan masukan, berdiskusi dengan peserta FGD lainnya, serta mengevaluasi kuesioner SWOT. Kuesioner tersebut berisi pernyataan yang mencakup kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weaknesses*), peluang (*opportunities*), dan ancaman (*threats*) dalam pengelolaan agroforestri *dusung*. Informan akan menilai dan memberi skor pada setiap pernyataan menggunakan skala *likert* 1 sampai 4, dengan skor 4 untuk respon yang sangat bagus. Pada tahap kedua, setelah merumuskan strategi pengelolaan agroforestri *dusung*, informan kembali dilibatkan dalam proses pengambilan keputusan. Informan diminta menilai dan memberi skor pada setiap strategi menggunakan kuesioner QSPM, sehingga dapat ditetapkan prioritas penerapan strategi.

2. Wawancara terstruktur

Wawancara terstruktur (*structured interview*) dilakukan terhadap 30 responden yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Kriteria responden meliputi: (1) pemilik *dusung*, (2) berusia 35-70 tahun, (3) aktif mengelola *dusung*, dan (4) memiliki status kepemilikan lahan yang jelas. Jumlah responden sebanyak 30 orang ini didasarkan pada *Central Limit Theorem*, yang menyatakan bahwa 30 sampel merupakan ukuran minimum untuk mendekati distribusi normal. Pendapat ini didukung oleh Thomson (2010) yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah

partisipan hingga 30 orang memungkinkan peneliti untuk memperoleh data yang lebih mendalam dan akurat, serta mengidentifikasi pola, konsep, dan dimensi yang lebih kompleks.

D. Metode Analisis Data

1. Perumusan Strategi

Perumusan strategi pengelolaan merupakan tahapan krusial dalam mencapai keberlanjutan suatu sistem. Terdapat berbagai metode analisis strategis yang dapat digunakan, seperti Analisis *Political, Economic, Social, Technological, Legal, Environmental* (PESTLE) untuk memahami faktor makro eksternal, atau Analisis Porter's Five Forces untuk menilai daya saing industri. Namun, untuk konteks penelitian ini yang berfokus pada perumusan strategi pengelolaan agroforestri *dusung* berkelanjutan di tingkat lokal, pendekatan SWOT dan QSPM dinilai paling relevan dan efektif. Analisis SWOT dipilih karena kemampuannya untuk mengidentifikasi secara komprehensif kondisi internal (kekuatan dan kelemahan) serta faktor eksternal (peluang dan ancaman) yang spesifik pada sistem *dusung*. Pendekatan ini memungkinkan peneliti dan *key person* untuk melihat gambaran utuh dari permasalahan dan potensi yang ada. Selanjutnya, untuk mengatasi keterbatasan SWOT yang bersifat kualitatif, digunakan QSPM. QSPM memungkinkan perumusan strategi yang telah diidentifikasi dari matriks SWOT untuk dinilai dan diprioritaskan secara kuantitatif. Dengan memberikan bobot dan skor daya tarik, metode ini membantu dalam menentukan strategi mana yang paling layak dan paling berdampak untuk

diimplementasikan. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya berupa daftar strategi, tetapi juga rekomendasi yang terukur dan terarah. David (2012) menyebutkan proses perumusan strategi dapat dibagi menjadi tiga tahap: 1) Tahap *input* dimulai dengan analisis lingkungan internal dan eksternal menggunakan matriks *Internal Factors Evaluation* (IFE) dan *External Factors Evaluation* (EFE) untuk mengumpulkan informasi yang relevan, 2) Tahap pencocokan bertujuan untuk menghasilkan alternatif strategi yang sesuai dengan kondisi organisasi melalui matriks *Internal-External* (IE) dan perumusan strategi melalui matriks SWOT, 3) Tahap akhir, yaitu tahap keputusan, melibatkan penggunaan QSPM, untuk mendapatkan urutan strategi prioritas.

a) Matriks EFE dan IFE

Matriks EFE dan IFE dapat dikembangkan melalui lima langkah (David, 2012) yaitu: 1) menyusun daftar faktor strategis eksternal yang mencakup peluang dan ancaman, 2) memberi bobot untuk setiap faktor berkisar dari 0,0 (tidak penting) hingga 1,0 (sangat penting), yang mencerminkan signifikansi relatif faktor tersebut terhadap keberhasilan agroforestri *dusung*, 3) mengakumulasi total bobot setiap variabel, menghitung nilai rata-rata, dan membagi total nilai setiap variabel dengan total nilai keseluruhan variabel (rumus 1).

$$\alpha_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (1)$$

Keterangan:

α_i = Bobot faktor

x_i = Nilai variabel ke- i

$\sum x_i$ = Total nilai variabel

i = 1, 2, 3, ..., n

n = Jumlah variabel

b) Matriks IE

David (2012) menyebutkan matriks IE adalah alat yang digunakan untuk menganalisis posisi strategis suatu divisi dalam organisasi. Matriks ini terbagi menjadi sembilan sel, dengan setiap sel mewakili kombinasi yang berbeda antara kekuatan internal dan peluang eksternal. Strategi yang paling sesuai untuk setiap divisi akan ditentukan berdasarkan sel yang ditempati.

c) Matriks SWOT

Matriks SWOT digunakan untuk mengevaluasi alternatif kebijakan pengembangan agroforestri *dusung* baik dalam jangka pendek, menengah, maupun panjang, serta sebagai salah satu dasar penilaian untuk rekomendasi dalam pengelolaan agroforestri *dusung*. David (2012) mengembangkan alternatif strategi tersebut menjadi empat jenis strategi, yaitu: SO (*Strengths-Opportunities*), WO (*Weaknesses-Opportunities*), ST (*Strengths-Threats*), dan WT (*Weaknesses-Threats*).

d) Matriks QSPM

Matriks QSPM merupakan tahap akhir dalam proses perumusan strategi. Matriks ini secara objektif membandingkan berbagai alternatif strategi berdasarkan bobot dan daya tariknya. Skor daya tarik yang diberikan berkisar antara 1 hingga 4, dengan 4 sebagai skor tertinggi. Strategi dengan total skor daya tarik tertinggi adalah strategi yang paling direkomendasikan (David, 2009).

2. Strategi Pengelolaan Agroforestri *Dusung*

Dalam strategi pengelolaan agroforestri, kondisi agroforestri

digunakan sebagai masukan dan acuan dalam sistem validasi. Pengelolaan agroforestri disusun melalui hasil analisis SWOT. Kebijakan pemerintah dievaluasi untuk melihat dukungan peraturan yang ada saat ini terkait pengembangan agroforestri *dusung* terhadap kemungkinan berhasil atau kegagalan hasil strategi yang diterapkan di wilayah penelitian. Hasil penilaian kebijakan menghasilkan rekomendasi-rekomendasi konkret yang dapat dijadikan pedoman bagi pemerintah untuk mendukung keberhasilan pengembangan agroforestri *dusung*.

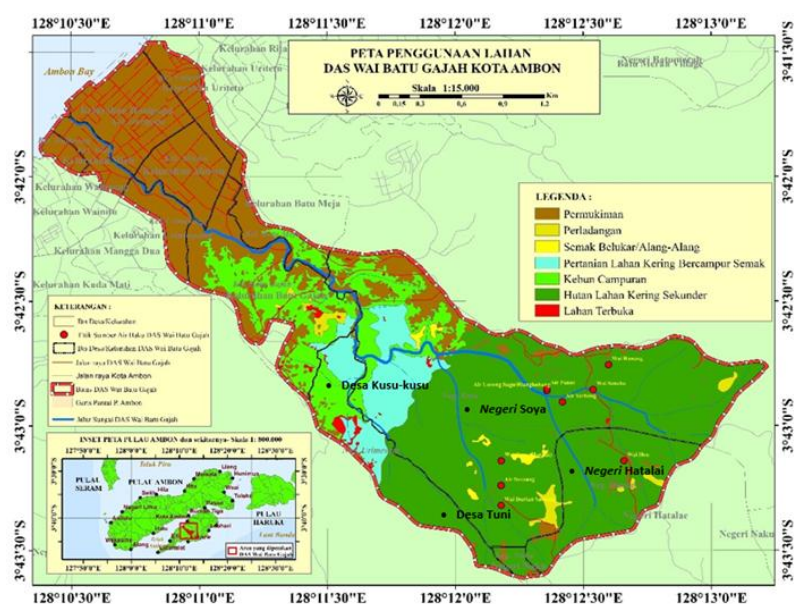
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penggunaan Lahan DAS Wai Batu Gajah

DAS Wai Batu Gajah terletak pada koordinat $3^{\circ}43'25''$ - $3^{\circ}41'49''$ LS dan $128^{\circ}12'22''$ - $128^{\circ}10'34''$ BT, berbatasan langsung dengan Desa Kilang di sebelah timur, Teluk Ambon di sebelah barat, Desa Mahia di sebelah selatan, dan Kelurahan Karang Panjang di sebelah utara. DAS ini

memiliki luas wilayah tangkapan air sekitar 641,87 ha dengan panjang sungai mencapai 3.100 m (BPDAS Waehapu Batu Merah, 2019).

Dusung sebagai hutan lahan kering sekunder adalah bentuk penggunaan lahan yang mendominasi bagian hulu DAS Wai Batu Gajah dengan persentase sebesar 46,88% dari luasan DAS. *Dusung* adalah warisan budaya yang menggambarkan pengetahuan lokal dalam mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan (Raharjo & Jambormias, 2020). Hal ini menunjukkan *dusung* memainkan peran penting dalam ekosistem dan keberlanjutan lingkungan DAS, yaitu memiliki peranan sangat strategi bagi pemenuhan fungsi-fungsi lindung, konservasi, ekonomi dan sosial budaya masyarakat (Sukarna *et al.*, 2022). Penggunaan lahan dominan selanjutnya berturut-turut yaitu permukiman, kebun campuran, pertanian lahan kering bercampur semak, hutan lahan kering sekunder, lahan terbuka, dan semak belukar (Gambar 2).



Gambar (Figure) 2. Peta Penggunaan Lahan DAS Wai Batu Gajah (*Land Use Map of Wai Batu Gajah Watershed*)
Sumber (Source): Pengolahan data, 2024 (*Data analysis, 2024*)

B. Keanekaragaman Hayati Agroforestri *Dusung*

Agroforestri *dusung* pada kawasan hulu DAS Wai Batu Gajah termasuk dalam penggunaan lahan agrosilvikultur, yaitu pemanfaatan lahan dengan tujuan untuk menghasilkan produk pertanian dan kehutanan secara bersamaan (Hairiah *et al.*, 2003). Jenis tanaman yang ditemukan sangat beragam mulai dari tanaman umur panjang (tahunan) dan tanaman umur pendek (musiman) dengan pola tanam dilakukan secara acak atau tidak teratur (*mixture random*). Pola tanam acak ini sering ditemukan dalam sistem pertanian tradisional, di mana banyak pohon yang tumbuh secara alami tanpa penanaman khusus. Hasil wawancara menunjukkan bahwa umumnya petani *dusung* melanjutkan tradisi yang diwariskan oleh leluhur mereka. Pilihan tanaman yang ditanam oleh petani *dusung* sangat dipengaruhi oleh masa panen dan iklim setempat. Mereka cenderung menghindari tanaman kehutanan atau hasil hutan kayu (HHK), karena masa panen yang panjang kecuali untuk jenis tanaman serbaguna atau *multi purpose tree species* (MPTS) yang dapat menghasilkan buah (Sahureka *et al.*, 2023). Petani *dusung* lebih memilih menanam tanaman pertanian, hortikultura, dan hasil hutan bukan kayu (HHBK).

Komposisi *dusung* menunjukkan tingkat keanekaragaman spesies yang sedang, dengan nilai indeks *Shannon-Wiener* (H') berkisar antara 1,93 hingga 2,42. Keanekaragaman ini mencakup berbagai jenis tanaman yang dimanfaatkan masyarakat, terdiri dari tanaman kehutanan seperti: gomu (*Artocarpus*

communis), sagu (*Metroxylon sago*), bambu (*Bambusa sp*), dan salawaku (*Paraserianthes falcataria*). Tanaman pertanian seperti: ubi Kayu (*Manihot esculenta*), nanas (*Ananas comosus*), pisang (*Musa sp*), langsung (*Lansium domesticum*), gandaria (*Bouea macrophylla*), dan durian (*Durio zibethinus*). Tanaman perkebunan seperti: kelapa (*Cocos nucifera*), pala (*Myristica fragrans*) dan cengkeh (*Syzygium aromaticum*). Penelitian menunjukkan bahwa di setiap negeri terdapat komoditas unggulan yang dijadikan sumber pendapatan utama petani, antara lain: durian (*Durio zibethinus*), kecapi (*Sondoricum koetjape*), dan pisang (*Musa sp*) di Negeri Soya; manggis (*Garcinia mangostana*), dan salak (*Salacca zalacca*) di Negeri Hatalai; gandaria (*Bouea macrophylla*), aren (*Arenga pinnata*), dan nanas (*Ananas comosus*) di Desa Tuni Negeri Urimesing; serta gandaria (*Bouea macrophylla*) dan langsung (*Lansium domesticum*) di Desa Kusu-kusu Negeri Urimesing. Kecenderungan petani untuk memanfaatkan komoditas tanaman buah-buahan sebagai sumber pendapatan utama ini paralel dengan kondisi agroforestri di wilayah lain, misalnya di riparian Ciliwung, Bogor. Prastiyo *et al.* (2018) menemukan bahwa agroforestri tradisional *talun* di wilayah tersebut didominasi oleh komoditas buah-buahan seperti pepaya, mangga, rambutan, dan jenis buah lainnya, yang juga memiliki nilai ekonomi penting bagi masyarakat setempat.

C. Analisis Matriks IFE

Matriks IFE (Tabel 1) disusun berdasarkan hasil wawancara dengan

Tabel (Table) 1. Analisis Matriks Evaluasi Faktor Internal (*Internal Factor Evaluation Matrix Analysis*)

Faktor strategis Internal (<i>Internal strategic factors</i>)		Bobot (<i>Weight</i>)	Nilai (<i>Rating</i>)	Bobot x Rating (<i>Weight x Rating</i>)
No	Kekuatan (<i>Strength</i>)			
S1	<i>Dusung</i> memiliki kekayaan biodiversitas berupa tanaman hutan, buah-buahan, dan tanaman pangan/pertanian yang sangat beragam dan memiliki nilai penting bagi keberlanjutan DAS Wai Batu Gajah	0,07	4,0	0,288
S2	Biodiversitas <i>dusung</i> bertindak sebagai penyedia jasa ekosistem sekaligus meningkatkan perekonomian dan menjadi bagian integral dari identitas dan pengetahuan lokal masyarakat di kawasan DAS Wai Batu Gajah	0,07	3,8	0,253
S3	Keberlanjutan DAS Wai Batu Gajah menjadi kunci keberlanjutan masyarakat secara ekologi, ekonomi, dan sosial budaya	0,06	3,5	0,220
S4	Terdapat 8 sumber mata air di kawasan DAS Wai Batu Gajah yang dimanfaatkan sebagai sumber air baku PDAM Kota Ambon	0,06	3,5	0,220
S5	<i>Dusung</i> sebagai pertanian konservasi untuk merehabilitasi Kawasan DAS Wai Batu Gajah	0,07	3,8	0,253
S6	Terdapat pola <i>dusung</i> yang terbentuk berdasarkan kepemilikan lahan	0,06	3,4	0,205
S7	Petani <i>dusung</i> memiliki pengetahuan lokal dalam mengelola lahan <i>dusung</i>	0,06	3,4	0,205
S8	<i>Sasi</i> dan <i>Kewang</i> sebagai lembaga adat untuk menjaga kelestarian <i>dusung</i>	0,06	3,3	0,190
S9	Dalam bercocok tanam, petani tidak menggunakan pupuk dan pestisida kimia	0,07	3,6	0,236
S10	Hasil <i>dusung</i> memberikan kontribusi bagi pendapatan keluarga	0,07	3,8	0,253
Total		0,64		2,322
W1	Belum ada data rinci tentang jenis tanaman, komposisi dan struktur <i>dusung</i>	0,02	1,4	0,034
W2	Tidak jelas batasan lahan <i>dusung</i> antar petani sehingga sering terjadi konflik antar petani	0,03	1,8	0,055
W3	Kondisi lahan <i>dusung</i> dengan topografi bergelombang – agak curam (15-45%)	0,03	1,5	0,040
W4	Belum adanya pemanfaatan <i>dusung</i> secara optimal	0,03	1,9	0,063
W5	Belum ada penggunaan teknologi dalam pengelolaan <i>dusung</i>	0,03	1,5	0,040
W6	Terbatasnya SDM	0,03	1,8	0,055
W7	Kurangnya pengetahuan dan keterampilan petani <i>dusung</i> dalam pengelolaan lahan dan pemanfaatan hasil <i>dusung</i>	0,03	1,5	0,040
W8	Akses sulit ke <i>dusung</i>	0,02	1,3	0,028
W9	Tingkat pendidikan petani yang rendah dengan skala usaha yang kecil	0,03	1,9	0,063
W10	Umur produk pertanian/ <i>dusung</i> yang pendek sehingga produk tidak bertahan lama	0,03	1,6	0,047
W11	Belum adanya standarisasi praktik pengelolaan <i>dusung</i> yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan sistem budidaya	0,02	1,1	0,023
W12	Rendahnya kapasitas dan pengetahuan petani dalam mengelola sistem budidaya <i>dusung</i> di kawasan DAS	0,02	1,3	0,028
W13	Minimnya keterampilan teknis dan manajemen petani dalam pengembangan <i>dusung</i> akibat terbatasnya akses terhadap pelatihan dan informasi pertanian terbaru	0,02	1,4	0,034
Total		0,36		0,552
TOTAL KESELURUHAN		1,00		2,874

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

petani dan FGD dengan informan. Dari hasil wawancara dan diskusi tersebut, teridentifikasi 10 kekuatan dan 13 kelemahan dalam pengelolaan agroforestri *dusung* di kawasan DAS. Setiap faktor diberi bobot dan peringkat untuk menunjukkan tingkat kepentingannya (Tabel 1). Skor bobot total dari semua faktor kemudian dihitung dan digunakan untuk analisis selanjutnya dalam matriks IE.

Analisis matriks IFE menunjukkan bahwa kekuatan terbesar sistem agroforestri *dusung* adalah kekayaan biodiversitasnya (S1). Hal ini menjadikan *dusung* memiliki nilai penting bagi keberlanjutan Daerah Aliran Sungai (DAS) Wai Batu Gajah. Masyarakat di bagian hulu DAS telah lama mengelola *dusung* secara turun-temurun, sehingga *dusung* menjadi bagian integral dari kearifan lokal. Selain itu, *dusung* juga memberikan kontribusi ekonomi yang signifikan bagi masyarakat (S10) (Marasabessy *et al.*, 2019). Selain memberikan manfaat ekonomi, *dusung* juga berperan sebagai sistem pertanian konservasi yang efektif untuk rehabilitasi DAS (S5) (van Noordwijk *et al.*, 2021).

Salah satu kelemahan utama sistem agroforestri *dusung*, sebagaimana teridentifikasi dalam matriks IFE, adalah rendahnya tingkat pendidikan petani dan skala usaha yang kecil (W9). Rendahnya tingkat pendidikan seringkali membatasi pilihan mata pencaharian, sehingga petani cenderung lebih bergantung pada sumber daya hutan (Safitri *et al.*, 2023). Selain itu, praktik budidaya yang dilakukan pun cenderung tidak optimal, terutama pada tahap pasca panen, akibat terbatasnya pengetahuan dan teknologi. Skala usaha *dusung* yang semakin mengecil akibat

pembagian lahan warisan juga menjadi kendala, sehingga produktivitas cenderung fluktuatif dan rentan terhadap serangan hama penyakit. Penelitian Minata *et al.* (2021) menunjukkan bahwa pendidikan berperan penting dalam meningkatkan pendapatan petani. Pendidikan dapat meningkatkan kemampuan seseorang dalam mengelola lahan, namun bukan satu-satunya faktor penentu keberhasilan. Oleh sebab itu, pengelolaan *dusung* harus dilakukan secara optimal agar dapat memberikan manfaat ekonomi, ekologi, dan sosial budaya yang berkelanjutan bagi petani.

D. Analisis Matriks EFE

Matriks EFE disusun dengan memberikan bobot dan peringkat pada 7 faktor peluang dan 13 faktor ancaman yang diperoleh dari hasil wawancara dan FGD. Skor bobot rata-rata untuk setiap faktor eksternal kunci kemudian dihitung dan disajikan dalam Tabel 2.

Analisis matriks EFE pada Tabel 2 menunjukkan bahwa peluang terbesar bagi sistem agroforestri *dusung* adalah potensi *dusung* sebagai sumber plasma nutfah dan biofarmaka (O3) dengan skor 0,257. Potensi ini didukung oleh kekayaan biodiversitas *dusung* yang tinggi, menghasilkan berbagai produk bernilai ekonomi seperti buah-buahan, bahan kerajinan, dan tanaman obat. Selain itu, *dusung* juga memiliki potensi besar sebagai destinasi wisata alam (ekowisata) (O2), dengan menggabungkan keanekaragaman hayati, nilai budaya, dan pengetahuan lokal. Hal ini sejalan dengan penelitian Daniel & Yovi (2024) yang menyatakan bahwa wisata alam akan menjadi tulang

panggung jasa lingkungan di masa depan. Potensi wisata alam Indonesia Indonesia sangat besar, mengingat hutan kita masih menyimpan banyak jasa lingkungan atau jasa lanskap yang tak ternilai (Firnawati *et*

al., 2021). Meskipun memiliki potensi besar, keberlanjutan *dusung* menghadapi ancaman serius, terutama dari pertumbuhan penduduk yang terus meningkat (T1).

Tabel (Table) 2. Analisis Matriks Evaluasi Faktor Eksternal (*External Factor Evaluation Matrix Analysis*)

Faktor strategis Eksternal (<i>External strategic factors</i>)		Bobot (<i>Weight</i>)	Nilai (<i>Rating</i>)	Bobot x Rating (<i>Weight x Rating</i>)
No	Peluang (<i>Opportunities</i>)			
O1	Permintaan pasar cukup tinggi	0,05	2,6	0,126
O2	Potensi wisata alam (agrowisata/ekowisata)	0,06	3,4	0,208
O3	Pengembangan <i>dusung</i> sebagai bank plasma nutfah dan sumber biofarmaka yang bernilai tinggi	0,07	3,8	0,257
O4	Adanya program pemerintah dalam rehabilitasi lahan DAS Wai Batu Gajah	0,06	3,3	0,193
O5	Tersedianya program bantuan dana dari pemerintah yang dapat diakses untuk pengembangan dan penguatan sistem <i>dusung</i>	0,04	2,0	0,073
O6	Akses ke pasar mudah	0,06	3,3	0,193
O7	Distribusi produk <i>dusung</i> menjangkau pasar ekspor	0,03	1,8	0,056
Total		0,37		1,11
No	Ancaman (<i>Threats</i>)	Bobot (<i>Weight</i>)	Nilai (<i>Rating</i>)	Bobot x Rating (<i>Weight x Rating</i>)
T1	Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat	0,06	3,1	0,178
T2	Konversi lahan <i>dusung</i> ke bentuk penggunaan lain akibat pertumbuhan penduduk	0,05	2,6	0,126
T3	Kurangnya minat generasi muda untuk melanjutkan usaha <i>dusung</i>	0,05	2,8	0,138
T4	Meningkatnya minat pembeli untuk membeli lahan <i>dusung</i>	0,05	2,6	0,126
T5	Perubahan iklim dan cuaca yang tidak menentu menyebabkan hasil panen menurun	0,05	3,0	0,164
T6	Hama dan penyakit menyebabkan penurunan produksi	0,04	2,3	0,092
T7	Peningkatan frekuensi dan intensitas bencana alam berupa banjir, erosi, longsor, dan sedimentasi di kawasan DAS	0,05	2,9	0,151
T8	Aktivitas antropogenik di sekitar kawasan yang mempercepat degradasi dan kerusakan ekosistem DAS	0,05	2,5	0,114
T9	Perubahan tata guna lahan di sekitar kawasan yang berdampak pada penurunan fungsi hidrologi DAS	0,06	3,1	0,177
T10	Gangguan siklus hidrologi menyebabkan penurunan debit dan kualitas air	0,05	3,0	0,164
T11	Pengelolaan lahan yang belum optimal mengakibatkan penurunan kesuburan tanah dan produktivitas <i>dusung</i>	0,05	2,8	0,138
T12	Ketidakjelasan status kepemilikan lahan <i>dusung</i>	0,04	2,0	0,073
T13	Potensi konflik sosial akibat tidak adanya batas yang jelas antar lahan <i>dusung</i>	0,04	2,1	0,082
Total		0,63		1,727
TOTAL KESELURUHAN		1,00		2,831

Sumber (*source*): Pengolahan data, 2024 (*Data analysis, 2024*)

Peningkatan populasi berpotensi menyebabkan konversi lahan *dusung* menjadi kawasan pemukiman atau industri (T2), sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem dan meningkatkan risiko bencana seperti erosi dan longsor (T7). Selain itu, minat generasi muda yang rendah terhadap pengelolaan *dusung* (T3), penjualan lahan *dusung* (T4), serta hama dan penyakit menyebabkan penurunan produksi (T6). Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan penurunan luas lahan *dusung* dan produksi secara signifikan.

E. Analisis Matriks IE

Matriks IE memberikan gambaran keseluruhan tentang kondisi agroforestri *dusung* berdasarkan skor total faktor internal (2,874) dan eksternal (2,831). Kedua skor ini kemudian diplot pada grafik untuk menentukan posisi agroforestri *dusung* (Gambar 3).

David (2009) menyebutkan perusahaan di kuadran V berada pada tahap mempertahankan dan memelihara (*Hold and Maintain*). Strategi yang dapat diterapkan pada tahap ini meliputi penetrasi pasar (*Market Penetration*) dan pengembangan produk (*Product Development*). Dalam konteks agroforestri *dusung*, penetrasi pasar dapat dilakukan melalui kerja sama dengan pemerintah dan swasta untuk membangun jaringan pemasaran yang lebih luas. Kerja sama ini tidak hanya meningkatkan akses pasar tetapi juga memperkuat daya saing produk lokal. Kolaborasi antara pemerintah dan

swasta dalam pengembangan infrastruktur pemasaran dapat mempercepat pertumbuhan ekonomi lokal dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Asmariadi, 2023; Kirana & Artisa, 2020). Petani *dusung* dapat mempromosikan produk unggulan mereka, baik dalam bentuk produk segar maupun olahan, untuk meningkatkan daya tarik konsumen. Selain itu, pengembangan produk (*product development*) juga perlu dilakukan, misalnya dengan mengembangkan potensi ekowisata. Strategi ini dapat menarik minat generasi muda dan meningkatkan nilai tambah *dusung*. Evanita (2023) dalam penelitiannya mencatat bahwa revitalisasi dan pengembangan potensi wisata dapat meningkatkan apresiasi generasi muda terhadap seni dan budaya mereka. Dengan demikian, dalam implementasi strategi dibutuhkan kerjasama antara pemerintah, swasta dan masyarakat dalam meningkatkan kualitas ekowisata, yang dapat memberikan nilai tambah bagi komunitas lokal (Ratnasari, 2024).

Meskipun matriks IE memberikan gambaran umum mengenai strategi yang tepat, analisis lebih lanjut menggunakan matriks SWOT diperlukan untuk merumuskan strategi yang lebih spesifik dan komprehensif. Analisis SWOT akan mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang dihadapi oleh sistem agroforestri *dusung*, sehingga strategi yang dikembangkan dapat lebih relevan dengan kondisi saat ini.

	4,0 (Kuat)	3,0 (Sedang)	2,0 (Lemah)	1,0
Tinggi (3,0-4,0)	I <i>Grow and Build</i>	II <i>Grow and Build</i> 2,87	III <i>Hold and Maintain</i>	
Sedang (2,0-2,99)	IV <i>Grow and Build</i> 2,83	V <i>Hold and maintain</i>	VI <i>Harvest or Divest</i>	
Rendah (1,0-1,99)	VII <i>Hold and Maintain</i>	VIII <i>Harvest or Divest</i>	IX <i>Harvest or Divest</i>	

Gambar (Figure) 3. Analisis matriks Internal dan Eksternal (*Internal and External Matrix Analysis*)Sumber (Source): Pengolahan data, 2024 (*Data analysis, 2024*)

F. Analisis Matriks SWOT

Hasil analisis SWOT menunjukkan adanya 12 strategi yang dapat diterapkan dalam pengelolaan agroforestri *dusung* (Tabel 3). Strategi-strategi ini mencakup berbagai aspek, mulai dari pengembangan potensi *dusung* sebagai wisata alam (ekowisata), tanaman biofarmaka dan pangan lokal, peningkatan input dan kualitas produksi, meningkatkan efektivitas lahan strategis, hingga membangun kemitraan dan kerjasama antara pemerintah daerah dan pihak swasta, serta merancang program edukasi dengan membentuk Sekolah Pertanian Lapang (SPL) dan menerapkan *Good Agriculture Practice* (GAP).

Pengembangan ekowisata berkelanjutan berbasis *dusung* dapat

menjadi strategi yang efektif untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekaligus melestarikan lingkungan. Untuk mencapai tujuan ini, kerjasama antara pemerintah dan sektor swasta sangat penting, karena kolaborasi tersebut dapat menciptakan sinergi dalam penyediaan infrastruktur yang memadai dan promosi yang efektif untuk menarik wisatawan. Pemerintah berperan sebagai regulator dan fasilitator dengan menyusun kebijakan yang mendukung, memberikan insentif, dan menjamin keberlanjutan pengembangan ekowisata (Haryanti, 2020). Sementara itu, sektor swasta berperan sebagai investor yang mengembangkan produk dan layanan wisata berbasis *dusung* dengan mengedepankan inovasi dan efisiensi dalam operasional.

Tabel (Table) 3. Analisis Matriks SWOT (SWOT Matrix Analysis)

Faktor Internal	Kekuatan (<i>Strengths</i>)	Kelemahan (<i>Weaknesses</i>)
	S1. Biodiversitas <i>dusung</i> S2. Penyedia jasa ekosistem S3. Kunci keberlanjutan ekologi, ekonomi, dan sosial budaya. S4. Terdapat 8 sumber mata air S5. Pertanian konservasi S6. Pola <i>dusung</i> berdasarkan kepemilikan lahan S7. Pengetahuan lokal petani S8. Adanya <i>sasi</i> dan <i>Kewang</i> S9. Petani tidak menggunakan pupuk dan pestisida kimia S10. Hasil <i>dusung</i> memberikan kontribusi bagi pendapatan keluarga	W1. Belum ada data rinci tentang <i>dusung</i> W2. Konflik antar petani W3. Topografi bergelombang-agak curam (15-45%) W4. Pemanfaatan belum optimal W5. Tidak ada teknologi W6. Terbatasnya SDM W7. Minimnya pengetahuan dan keterampilan W8. Akses sulit ke <i>dusung</i> W9. Tingkat pendidikan petani rendah W10. Umur produk <i>dusung</i> yang pendek W11. Belum ada standarisasi praktik pengelolaan <i>dusung</i> W12. Rendahnya pengetahuan petani W13. Kurangnya pelatihan dan penyuluhan
Faktor Eksternal		
Peluang (<i>Opportunities</i>)	SO Strategi	WO Strategi
O1. Permintaan pasar cukup tinggi O2. Potensi wisata alam (agrowisata/ekowisata) O3. Pengembangan <i>dusung</i> sebagai bank plasma nutfah dan sumber biofarmaka O4. Adanya program pemerintah dalam rehabilitasi lahan DAS O5. Tersedia program pemerintah untuk pengembangan <i>dusung</i> O6. Akses ke pasar mudah O7. Distribusi produk <i>dusung</i> menjangkau pasar ekspor	1. Memanfaatkan kekayaan biodiversitas <i>dusung</i> untuk mengembangkan wisata alam (agrowisata/ekowisata) berbasis <i>dusung</i> yang berkelanjutan dengan melakukan kerjasama antar pemerintah dan swasta (S1,S2,S3,O2) 2. Menggunakan pengetahuan lokal dalam mengelola lahan <i>dusung</i> untuk mengembangkan potensi tanaman biofarmaka dan pangan lokal (S6,S7,S9,S10,O1,O3,O6) 3. Membangun kemitraan dengan pelaku usaha untuk promosi dan memasarkan produk <i>dusung</i> , baik di tingkat lokal maupun nasional (S3,S10,O1,O5,O6,O7) 4. Melakukan kerjasama dengan pemerintah daerah untuk program rehabilitasi lahan yang melibatkan masyarakat, sehingga masyarakat aktif terlibat dalam menjaga <i>dusung</i> dan DAS (S4,S5,S8,O3,O4). 5. Meningkatkan efektifitas lahan strategis (S5,S7,S9,O1,O2,O3)	1. Membangun kerjasama dengan Pemerintah Daerah dan Dinas Pertanian Ketahanan Pangan untuk menyelenggarakan pelatihan dan penyuluhan secara teratur tentang pengelolaan lahan, penggunaan teknologi tepat guna, dan praktik budidaya <i>dusung</i> yang optimal di kawasan DAS (W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10, W11, W12, W13, O2, O3, O4, O5) 2. Membuat kelompok tani <i>dusung</i> di setiap <i>negeri</i> sebagai wadah komunikasi antar petani <i>dusung</i> dan pemerintah sehingga dapat menjalankan program-program yang mengedukasi petani <i>dusung</i> dan masyarakat sekitar (W6,W7,W9,W13,O3,O4)

Faktor Internal	Kekuatan (<i>Strengths</i>) S1. Biodiversitas <i>dusung</i> S2. Penyedia jasa ekosistem S3. Kunci keberlanjutan ekologi, ekonomi, dan sosial budaya. S4. Terdapat 8 sumber mata air S5. Pertanian konservasi S6. Pola <i>dusung</i> berdasarkan kepemilikan lahan S7. Pengetahuan lokal petani S8. Adanya <i>sasi</i> dan <i>Kewang</i> S9. Petani tidak menggunakan pupuk dan pestisida kimia S10. Hasil <i>dusung</i> memberikan kontribusi bagi pendapatan keluarga	Kelemahan (<i>Weaknesses</i>) W1. Belum ada data rinci tentang <i>dusung</i> W2. Konflik antar petani W3. Topografi bergelombang- agak curam (15-45%) W4. Pemanfaatan belum optimal W5. Tidak ada teknologi W6. Terbatasnya SDM W7. Minimnya pengetahuan dan keterampilan W8. Akses sulit ke <i>dusung</i> W9. Tingkat pendidikan petani rendah W10. Umur produk <i>dusung</i> yang pendek W11. Belum ada standarisasi praktik pengelolaan <i>dusung</i> W12. Rendahnya pengetahuan petani W13. Kurangnya pelatihan dan penyuluhan
	Faktor Eksternal	
Ancaman (<i>Threats</i>) T1. Pertumbuhan penduduk T2. Konversi lahan <i>dusung</i> T3. Kurangnya minat generasi muda T4. Meningkatnya minat pembeli lahan <i>dusung</i> T5. Perubahan iklim T6. Hama dan penyakit T7. Resiko bencana T8. Degradasi DAS T9. Menurunnya fungsi hidrologi DAS T10. Penurunan debit dan kualitas air T11. Penurunan kesuburan tanah T12. Ketidakjelasan status kepemilikan lahan <i>dusung</i> T13. Potensi konflik sosial	ST Strategi 1. Mencegah konversi lahan dengan cara meningkatkan struktur pendapatan masyarakat melalui peningkatan <i>input</i> dan kualitas produksi (S3,S7,S9,S10,T1,T2,T11) 2. Mengembangkan produk pertanian berbasis <i>dusung</i> yang lebih tahan lama dan bernilai jual tinggi untuk mengurangi risiko penurunan pendapatan dan hasil panen akibat perubahan iklim (S3,S10,T5,T6,T11)	WT Strategi 1. Mengembangkan program yang berfokus pada mitigasi ancaman perubahan iklim melalui SPL dan menerapkan GAP (W6,W11,W12,W13,T1,T5,T7,T8,T9,T10,T11) 2. Pemerintah melakukan pendampingan, monitoring dan evaluasi pada tiap program reboisasi yang dijalankan sehingga tepat guna. (W4,W6,W7,T7,T8,T9,T10,T11) 3. Merancang program edukasi untuk menarik minat generasi muda dalam usaha pertanian <i>dusung</i> dan meningkatkan partisipasi mereka dalam pengelolaan <i>dusung</i> serta perlindungan kawasan DAS (W4,W5,W6,W7,W9,W13,T3,T5,T7,T8,T9,T10,T11)

Sumber (*source*): Pengolahan data, 2024 (*Data analysis*, 2024)

Strategi selanjutnya, meningkatkan efektivitas lahan strategis dan mencegah konversi lahan melalui peningkatan pendapatan masyarakat merupakan langkah penting untuk menjaga

keberlanjutan sumber daya alam. Hal ini dapat diwujudkan dengan menanam tanaman unggulan yang dimiliki oleh petani serta meningkatkan input pertanian, seperti pupuk dan teknologi

pertanian, untuk meningkatkan hasil produksi. Selain itu, pelatihan dan penyuluhan bagi petani mengenai praktik budidaya yang baik juga sangat diperlukan agar mereka dapat mengelola lahan secara lebih efisien (Ellyta & Dewi, 2023).

Di samping itu, pengembangan produk pertanian yang tahan lama dan bernilai jual tinggi akan membantu mengurangi risiko penurunan pendapatan akibat perubahan iklim. Pembentukan kelompok tani sebagai wadah komunikasi antara petani dan pemerintah juga sangat penting untuk mendukung program edukasi (Wisriani, 2023; Devi, 2023). Selain itu, program mitigasi perubahan iklim melalui SPL dan penerapan GAP akan memperkuat ketahanan sektor pertanian. Dengan dukungan pemerintah dalam pendampingan dan evaluasi, semua program ini diharapkan dapat berjalan dengan efektif dan memberikan dampak positif bagi masyarakat.

Analisis Matriks *Quantitative Strategic Planning* (QSP)

Analisis matriks SWOT dan QSPM menunjukkan bahwa tiga strategi prioritas untuk pengelolaan agroforestri *dusung* adalah: meningkatkan efektivitas lahan strategis (*Sum Total Attractiveness Score/STAS* 6,87), mencegah konversi lahan melalui peningkatan pendapatan masyarakat (*STAS* 6,71), dan memperkuat dukungan Pemerintah Daerah melalui penyuluhan dan pendampingan kepada petani *dusung* (*STAS* 6,63) (Tabel 4). Untuk mencapai tujuan pertama, identifikasi lahan-lahan strategis dengan potensi produktivitas tinggi perlu dilakukan. Lahan-lahan tersebut dapat diidentifikasi

berdasarkan komoditas unggulan yang telah lama diusahakan oleh petani setempat dan menjadi sumber pendapatan utama (Upla *et al.*, 2022). Pengembangan komoditas unggulan seperti durian, manggis, kecap, gandaria, langsung, salak, aren, nanas, dan pisang perlu disesuaikan dengan karakteristik lanskap agroforestri *dusung* untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan dan menjaga kelestarian lingkungan (Kaswanto *et al.*, 2021). Selanjutnya, langkah-langkah konkret yang dapat dilaksanakan meliputi pemilihan bibit unggul, penggunaan pupuk dan pestisida yang terukur, serta penerapan teknologi tepat guna. Untuk strategi kedua, perlu dikembangkan program-program yang dapat meningkatkan pendapatan petani, seperti pengembangan pasar, pengolahan hasil panen, dan pembentukan kelompok tani. Sedangkan untuk strategi ketiga, diperlukan sinergi yang kuat antara pemerintah, lembaga swadaya masyarakat, dan petani dalam penyediaan penyuluhan dan pendampingan yang berkelanjutan (Ellyta & Dewi, 2023).

Pengembangan agroforestri *dusung* di hulu DAS Wai Batu Gajah memiliki signifikansi yang mendalam dibandingkan dengan agroforestri modern karena inheren dengan kearifan lokal dan adaptif terhadap kondisi biofisik spesifik wilayah tersebut. *Dusung*, sebagai sistem agroforestri tradisional yang telah diwariskan secara turun-temurun, mencerminkan pengetahuan empiris masyarakat setempat dalam memanfaatkan dan mengelola keanekaragaman hayati secara berkelanjutan (Silaya & Latupapua, 2024).

Tabel (Table) 4. Analisis Matriks QSP (QSP Matrix Analysis)

Strategi (Strategy)	Total Nilai Daya Tarik (Sum Total Attractiveness Score/ STAS)
Strategi 1 (S-O) Meningkatkan efektifitas lahan strategis	6,87
Strategi 2 (S-T) Mencegah konversi lahan dengan cara meningkatkan struktur pendapatan masyarakat melalui peningkatan <i>input</i> dan kualitas produksi	6,71
Strategi 3 (W-O) Membangun kerjasama dengan Pemerintah Daerah dan Dinas Pertanian Ketahanan Pangan untuk menyelenggarakan pelatihan dan penyuluhan secara teratur tentang pengelolaan lahan, penggunaan teknologi tepat guna, dan praktik budidaya <i>dusun</i> yang optimal di Kawasan DAS	6,63
Strategi 4 (W-O) Membuat kelompok tani <i>dusun</i> di setiap <i>negeri</i> sebagai wadah komunikasi antar petani <i>dusun</i> dan pemerintah sehingga dapat menjalankan program-program yang mengedukasi petani <i>dusun</i> dan masyarakat sekitar	6,56
Strategi 5 (S-O) Menggunakan pengetahuan lokal dalam mengelola lahan <i>dusun</i> untuk mengembangkan potensi tanaman biofarmaka dan pangan lokal	6,48
Strategi 6 (S-T) Mengembangkan produk pertanian berbasis <i>dusun</i> yang lebih tahan lama dan bernilai jual tinggi untuk mengurangi risiko penurunan pendapatan dan hasil panen akibat perubahan iklim	6,41
Strategi 7 (S-O) Membangun kemitraan dengan pelaku usaha untuk promosi dan memasarkan produk <i>dusun</i> , baik di tingkat lokal maupun ekspor	6,34
Strategi 8 (S-O) Melakukan kerjasama dengan pemerintah daerah untuk program rehabilitasi lahan yang melibatkan masyarakat, sehingga masyarakat aktif terlibat dalam menjaga <i>dusun</i> dan DAS	6,30
Strategi 9 (W-T) Pemerintah melakukan pendampingan, monitoring dan evaluasi pada tiap program reboisasi yang dijalankan sehingga tepat guna	6,22
Strategi 10 (S-O) Memanfaatkan kekayaan biodiversitas <i>dusun</i> untuk mengembangkan wisata alam (agrowisata/ekowisata) berbasis <i>dusun</i> yang berkelanjutan dengan melakukan kerjasama antar pemerintah dan swasta	6,02
Strategi 11 (W-T) Merancang program edukasi untuk menarik minat generasi muda dalam usaha pertanian <i>dusun</i> dan meningkatkan partisipasi mereka dalam pengelolaan <i>dusun</i> serta perlindungan kawasan DAS	5,95
Strategi 12 (W-T) Mengembangkan program yang berfokus pada mitigasi ancaman perubahan iklim melalui SPL dan menerapkan GAP	5,87

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

Sistem ini mengintegrasikan berbagai jenis spesies tanaman yang secara ekologis saling mendukung, menciptakan lanskap yang lebih resilien terhadap perubahan iklim dan gangguan lingkungan. Selain itu,

dusun memiliki dimensi sosial-budaya yang kuat, terkait dengan praktik adat dan sistem kepemilikan lahan komunal yang berkontribusi pada kohesi sosial dan pelestarian nilai-nilai tradisional.

Sementara agroforestri modern cenderung menekankan pada monokultur atau beberapa jenis tanaman unggul dengan tujuan produksi maksimal, *dusung* menawarkan pendekatan yang lebih beragam, adaptif, dan selaras dengan prinsip-prinsip ekologi lokal, menjadikannya model pengelolaan lahan yang berpotensi lebih berkelanjutan dan sesuai dengan konteks hulu DAS Wai Batu Gajah (Girsang *et al.*, 2023).

IV. KESIMPULAN

DAS Wai Batu Gajah menghadapi tantangan signifikan akibat perubahan penggunaan lahan, degradasi lingkungan, dan tekanan sosial-ekonomi. Agroforestri *dusung*, yang merupakan praktik tradisional berbasis kearifan lokal, berpotensi menjadi solusi konservasi yang berkelanjutan. Penelitian ini mengidentifikasi bahwa agroforestri *dusung* memiliki kekayaan biodiversitas tinggi yang memberikan manfaat ekologis, ekonomi, dan sosial, namun menghadapi tantangan seperti minimnya teknologi, rendahnya sumber daya petani, rendahnya minat generasi muda terhadap *dusung*, tidak ada pendampingan dan penyuluhan terkait teknik budidaya serta kurangnya regulasi dan kebijakan yang mengatur agroforestri *dusung*.

Analisis SWOT mengidentifikasi tiga strategi utama untuk pengembangan agroforestri *dusung*, yaitu: 1) meningkatkan efektivitas lahan strategis, 2) meningkatkan input dan kualitas produksi pertanian, dan 3) memperkuat sinergi *multi-stakeholder*. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan pendampingan teknis yang intensif, penyuluhan yang

berkelanjutan, serta dukungan kebijakan yang mendukung pengembangan agroforestri *dusung* yang berkelanjutan. Dengan demikian, pengelolaan agroforestri *dusung* dapat memberikan manfaat ganda, yaitu meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menjaga kelestarian lingkungan kawasan DAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah *Negeri* Soya, Hatalai, dan Urimessing, serta masyarakat setempat di kawasan DAS Wai Batu Gajah, Kecamatan Sirimau, Kota Ambon atas kerja sama dan bantuan selama proses pengambilan data. Terima kasih juga kepada staf akademik Program Studi Budidaya Pertanian Universitas Pattimura Ambon atas dukungan selama penelitian, serta kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas pendanaan penelitian.

KONTRIBUSI

Angela Martha Rettob, sebagai penulis utama, bertanggung jawab atas pengumpulan data, pengolahan data, menulis draft awal dan menulis draft akhir. Regan Leonardus Kaswanto dan Evi Yulianti Yovi, sebagai dosen pembimbing, memberikan arahan, koreksi, evaluasi, serta masukan-masukan yang konstruktif terhadap seluruh aspek penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Almaliki, A. H., Zerouali, B., Santos, C. A. G., Almaliki, A. A., Silva, R. M. da, Ghoneim, S. S. M., & Ali, E. (2023). Assessing coastal vulnerability and land use to sea level rise in Jeddah Province, Kingdom

- of Saudi Arabia. *Heliyon*, 9(8), e18508.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18508>.
- Arifasihati, Y., & Kaswanto. (2016). Analysis of land use and cover changes in Ciliwung and Cisadane Watershed in three decades. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 465–469.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.098>.
- Arifin, H. S., Wulandari, C., Pramukanto, Q., & Kaswanto, R. L. (2009). Analisis lanskap Agroforestri: konsep, metode, dan pengelolaan agroforestri skala lanskap dengan Studi kasus Indonesia, Filipina, Laos, Thailand, dan Vietnam. Institut Pertanian Bogor (IPB) Press. Bogor.
- Asmariadi, A. (2023). Pengembangan pariwisata budaya di Kota Bandung dalam sudut pandang implementasi kerjasama pemerintah dengan badan usaha. *Inovasi Pembangunan Jurnal Kelitbangan*, 11(02), 109-124.
<https://doi.org/10.35450/jip.v11i02.403>.
- BPBD Kota Ambon. (2022). *Peta Tematik Sebaran Wilayah Banjir DAS Wai Batu Gajah*. P4RB-API. Ambon: Universitas Pattimura.
- BPDAS Waehapu Batu Merah. (2019). *Batas daerah aliran Sungai (DAS) di Provinsi Maluku*. Maluku: BPDAS Waehapu Batu Merah.
- Daniel, D. J., & Yovi, E. Y. (2024). Revitalizing forest management in Indonesian forest industry post-covid-19: Expectations from young foresters (a case study from university students). *Indonesian Journal of Forestry Research*, 11(2), 155–170.
<https://doi.org/10.59465/ijfr.2024.11.2.155-170>.
- David, F. R. (2009). *Strategic management*. Jakarta: Salemba Empat.
- David, F. R. (2012). *Strategic management konsep*. Buku 1. Edisi 12. Jakarta (ID): Salemba Empat.
- Devi, N. (2023). Inovasi produk pertanian berbasis pengetahuan lokal. *Jurnal Kebijakan Publik*, 14(4), 422.
<https://doi.org/10.31258/jkp.v14i4.8351>.
- Ellyta, E., & Dewi, E. (2023). Pendampingan pertanian terhadap produktivitas tenaga kerja petani kacang panjang di Desa Rasau Jaya I Kabupaten Kubu Raya. *Ziraa Ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 48(2), 243.
<https://doi.org/10.31602/zmip.v48i2.11145>.
- Evanita, S. (2023). Revitalisasi perkampungan adat sijunjung sebagai pusat destinasi wisata budaya Minangkabau di Sumatera Barat. *Abdi Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 5(3), 409-419.
<https://doi.org/10.24036/abdi.v5i3.458>.
- Firawati, Kaswanto, R. L., & Sjaf, S. (2021). Participatory mapping of the potential landscape services of forest village area in Pattaneteang, Bantaeng Regency. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 11(2), 189-203.
<https://doi.org/10.29244/jpsl.11.2.189-203>
- Girsang, W., Matsuda, M., & Yamamoto, S. (2023). *Dukung agroforestry systems on Ambon Island, Central Maluku, Indonesia: Sustainable livelihoods, land*

- property rights, and poverty reduction. *Journal of Marine and Island Cultures*, 12(3).
<https://doi.org/10.21463/jmic.2023.12.3.12>.
- Hairiah, K., Sarjono, M. A., & Sabaruddin, S. (2003). *Pengantar agroforestri. Ilmu pengetahuan kehutanan*. Bahan ajaran 1 Wood Agroforestry Centre, Southeast Asia Regional Office. Bogor: ICRAF.
- Haryanti, N. (2020). Implementasi public private partnership sebagai usaha keberhasilan pengembangan pariwisata di era global. *Jurnal Dinamika Ekonomi Syariah*, 7(1): 30-49, <https://doi.org/10.53429/jdes.v7i1.24>.
- Indrizal, E. (2016). Pengetahuan ilmu sosial dan humaniora untuk perbaikan karakter bangsa Indonesia. *Proceeding: Seminar Nasional 2 FISIP*: Universitas Andalas, p. 76.
- Irwanto. (1998). Focus Group Discussion (FGD): *Sebuah pengantar praktis*. Jakarta: Pusat Kajian Pembangunan Masyarakat Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya.
- Jacob, A. (2018). Pengelolaan lahan alternatif untuk konservasi sumberdaya air Di DAS Batugantung, Kota Ambon. *Agrologia*, 2(1). <https://doi.org/10.30598/a.v2i1.275>.
- Kaswanto, R. L., Aurora, R. M., Yusri, D., Sjaf, S., & Barus, S. (2021). Kesesuaian lahan untuk komoditas unggulan pertanian di Kabupaten Labuhanbatu Utara. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 19(2), 189. <https://doi.org/10.21082/akp.v19n2.2021.189-205>.
- Kaswanto, R. L., Filqisthi, T. A., & Choliq. M. B. S. (2017). Revitalisasi pekarangan lanskap perdesaan sebagai penyedia jasa lanskap untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 8(1), 50-60. <https://doi.org/10.29244/jli.v8i1.17638>.
- Kirana, C. & Artisa, R. (2020). Pengembangan desa wisata berbasis collaborative governance di Kota Batu. *Kolaborasi Jurnal Administrasi Publik*, 6(1), 68-84. <https://doi.org/10.26618/kjap.v6i1.3119>.
- Manakane, S. E., Latue, P. C., Heinrich, R. (2023). Identifikasi daerah rawan longsor di DAS Wai Batu Gajah, Kota Ambon menggunakan metode slope morphology dan indeks storie. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*. doi: <https://doi.org/10.59435/gjmi.v1i1.25>.
- Marasabessy, S., Latuamury, B., Iskar, I., & Suhendy, C. C. V. (2019). Persepsi masyarakat mengenai peranan vegetasi kawasan sabuk hijau di sempadan Sungai DAS Wae Batu Gajah. *Makila*, 13(1), 14–28. <https://doi.org/10.30598/makila.v13i1.2317>.
- Minata, M., Seran, W., & Nampa, I. W. (2021). Analisis pendapatan komposisi agroforestri petani di Desa Romarea Kecamatan Nangapanda Kabupaten Ende. *Wana Lestari*, 3(02), 161-177.
- Nogué, S., Santos, A. M. C., Birks, H. J. B., Björck, S., Castilla-Beltrán, A., Connor, S., de Boer, E. J., de Nascimento, L., Felde, V. A., Fernández-Palacios, J. M., Froyd, C. A., Haberle, S. G., Hooghiemstra, H., Ljung, K., Norder, S. J., Peñuelas, J., Prebble, M., Stevenson, J., Whittaker, R. J., ... Steinbauer, M. J.

- (2021). The human dimension of biodiversity changes on islands. *Science*, 372(6541), 488–491. <https://doi.org/10.1126/science.abd6706>.
- Octavia, D., Suharti, S., Murniati, Dharmawan, I. W. S., Nugroho, H. Y. S. H., Supriyanto, B., Rohadi, D., Njurumana, G. N., Yeny, I., Hani, A., Mindawati, N., Suratman, Adalina, Y., Prameswari, D., Hadi, E. E. W., & Ekawati, S. (2022). Mainstreaming smart agroforestry for social forestry implementation to support sustainable development goals in Indonesia: A review. *Sustainability*, 14(15), 9313. <https://doi.org/10.3390/su14159313>.
- Paudel, S., Baral, H., Rojario, A., Bhatta, K. P., & Artati, Y. (2022). Agroforestry: Opportunities and challenges in Timor-Leste. *Forests*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.3390/f13010041>.
- Prastiyo, Y. B., Kaswanto, R. L., & Arifin, H. S. (2018). Plants production of agroforestry system in Ciliwung riparian landscape, Bogor Municipality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 179, 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/179/1/012013>.
- Prastiyo, Y. B., Kaswanto, R. L., & Arifin, H. S. (2020). Plants diversity of agroforestry system in Ciliwung Riparian Landscape, Bogor Municipality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012024>.
- Raharjo, S., & Jambormias, E. (2020). *Keragaman dan status sistem pertanian pulau pulau kecil di Maluku*. Ambon: Universitas Pattimura Ambon.
- Rakuasa, H., Sihasale, D. A., & Latue, P. C. (2022). Model tutupan lahan di Daerah Aliran Sungai Kota Ambon tahun 2031 model tutupan lahan di Daerah Aliran Sungai Kota Ambon tahun 2031: Studi kasus DAS Wai Batu Gantung, Wai Batu Gajah, Wai Tomu, Wai Batu Merah dan Wai Ruhu. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 473–486. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.29>.
- Ratnasari, F. (2024). Pengembangan edukowisata hutan mangrove jembatan pelangi Desa Lontar Kecamatan Tirtayasa Kabupaten Serang. *Samakia Jurnal Ilmu Perikanan*, 15(1), 21-32. <https://doi.org/10.35316/jsapi.v15i1.3353>.
- Reader, M. O., Eppinga, M. B., de Boer, H. J., Damm, A., Petchey, O. L., & Santos, M. J. (2023). Biodiversity mediates relationships between anthropogenic drivers and ecosystem services across global mountain, island and delta systems. *Global Environmental Change*, 78, 102612. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102612>.
- Ririhena, R. E. (2015). Integrasi Pengelolaan Agroforestri *dukung* berkelanjutan di Pulau Ambon (studi kasus Kota Ambon). IPB University. Bogor.
- Safitri, A. W., Yanti, R. N., & Suwarno, E. (2023). Nilai ekonomi dan kontribusi hasil hutan bukan kayu terhadap pendapatan masyarakat (Studi kasus pada Desa Halaban Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat). *Jurnal Belantara*, 6(1),

- 69–79.
<https://doi.org/10.29303/jbl.v6i1.921>.
- Sahureka, M., Wattimena, C. M. A., & Latupapua, L. (2023). Pengelolaan agroforestri tradisional “dusung” sebagai solusi peningkatan ekonomi masyarakat di Negeri Waai Kecamatan Salahutu. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 90–98.
<https://doi.org/10.30598/maanuv1i2p90-98>.
- Silaya, T. M., & Latupapua, L. (2024). Agroforestri tradisional “dusung” sebagai solusi kelola hutan pulau kecil di Maluku (kasus Pulau Ambon). *Jurnal Sylva Scientiae*, 7(5), 748.
<https://doi.org/10.20527/jss.v7i5.13271>.
- Sukarna, R. M., Hidayat, N., & Tambunan, M. S. (2022). Kondisi hutan tropis lahan kering berdasarkan struktur dan komposisi jenis tegakan (studi kasus pada PT . Sindo Lumber Provinsi Kalimantan Tengah, Indonesia). *Journal of Environment and Management*, 3(1), 80–88.
<https://doi.org/https://doi.org/10.37304/jem.v2i2.4294>.
- Talakua, S. M., & Osok, R. M. (2017). *Penyusunan pola inovatif konservasi lahan DAS Wai Batu Gajah untuk mendukung waduk sebagai penghalang banjir dan sedimen*. Laporan Akhir Dana Bantuan Operasional. Ambon: Universitas Pattimura.
- Thomson, S.B. (2010). Grounded theory sample size. *Journal of Administration and Governance*. 5(1): 45-52.
<https://ssrn.com/abstract=3037218>.
- Upla, P., Reed, J., Moombe, K., Kazule, B., Mulenga, B., Ros-Tonen, M., & Sunderland, T. (2022). Assessing the potential for private sector engagement in integrated landscape approaches: insights from value-chain analyses in Southern Zambia. *Land*, 11(9), 1549.
<https://doi.org/10.3390/land11091549>.
- van Noordwijk, M., Coe, R., Sinclair, F. L., Luedeling, E., Bayala, J., Muthuri, C. W., Cooper, P., Kindt, R., Duguma, L., Lamanna, C., & Minang, P. A. (2021). Climate change adaptation in and through agroforestry: four decades of research initiated by Peter Huxley. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26(5), 18.
<https://doi.org/10.1007/s11027-021-09954-5>.
- Wisriani, W. (2023). Kajian peran kelompok tani dalam meningkatkan produksi usahatani kakao (studi kasus di Desa Bulu Tellue, Kecamatan Bulupoddo, Kabupaten Sinjai). *Wiratani*, 4(2), 126.
<https://doi.org/10.33096/wiratani.v4i2.156>.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS DEBIT ANDALAN DAN KEBIJAKAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGKULU UNTUK KETERSEDIAAN AIR BAKU DI KOTA BENGKULU

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

Idham Khalik^{1,*}, Asep Sapei², Sigid Hariyadi³, Elisa Anggraeni⁴

¹Dosen pada Program Studi Kesehatan Masyarakat, STIKES Tri Mandiri Sakti, Jalan Hibrida Raya, Bengkulu, Indonesia, Email: khalik.tms@gmail.com

²Profesor pada Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Darmaga, Bogor, Indonesia

³Dosen pada Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Perikanan dan Kelautan, IPB University, Darmaga, Bogor, Indonesia

⁴Dosen pada Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Darmaga, Bogor, Indonesia

*Email: khalik.tms@gmail.com

Diterima: 24 Juni 2025, Direvisi : 29 Juli 2025, Disetujui : 19 September 2025

ABSTRACT

Watersheds must be managed as a unified area from upstream to downstream, by considering various geophysical and socio-economic aspects. Changes in watershed morphology are one of the important factors that can affect the hydrological system and affect the water availability of a region. The study aimed to analyse the dependable discharge of the Bengkulu River and develop policies for sustainable management of the Bengkulu Watershed. The methods used to analyze the reliable discharge are the Weibull distribution flow duration curve (with 90% probability) and Interpretive Structural Modelling (ISM). Results showed that, from 1990 to 2020, land use in the Bengkulu Watershed changed in the form of a 34,58 km² (7,30%) decrease in Secondary Dryland Forest area, and a 10,54 km² (2,22%) increase in mining area. The dependable discharge of Bengkulu River (with 90% probability) is 10.93 m³/s or approximately 344.69 million m³. Furthermore, the Bengkulu River's flow regime coefficient fluctuates considerably and has shows an increasing trend in recent years. This indicates that the watershed is experiencing degradation due to changes in land cover and global climate changes. Some policy recommendations that need to be implemented include integrating spatial planning and watershed management plans across local governments and to guide natural resource management, reforestating or planting trees to maintain vegetated areas, and planting forests and crops through agroforestry.

Keywords: *dependable discharge; hydrology; Interpretive Structural Modelling/ISM; flow regime coefficient; land use*

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) harus dikelola sebagai satu kesatuan wilayah dari hulu ke hilir dengan mempertimbangkan berbagai aspek geofisik dan sosial ekonomi. Perubahan morfologi DAS merupakan salah satu faktor penting yang dapat memengaruhi sistem hidrologi dan dapat berpengaruh terhadap ketersediaan air suatu wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit andalan Sungai Bengkulu dan menyusun kebijakan pengelolaan DAS Bengkulu secara berkelanjutan. Metode yang digunakan untuk analisis debit andalan adalah kurva durasi aliran distribusi Weibull (probabilitas 90%) dan pemodelan struktural interpretatif (ISM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari tahun 1990 hingga 2020, telah terjadi perubahan penggunaan lahan DAS Bengkulu berupa penurunan luas Hutan Lahan Kering Sekunder sebesar 34,58 km² (7,30%) dan peningkatan luas areal pertambangan sekitar 10,54 km² (2,22%). Debit andalan Sungai Bengkulu (probabilitas 90%) adalah 10,93 m³/dtk atau sekitar 344,69 juta m³. Selain itu, koefisien rezim aliran Sungai Bengkulu cukup fluktuatif dan menunjukkan tren yang meningkat pada beberapa tahun terakhir. Hal ini mengindikasikan bahwa DAS tersebut mengalami degradasi akibat perubahan tutupan lahan dan perubahan iklim global. Beberapa rekomendasi kebijakan yang perlu dilakukan yaitu: integrasi rencana tata ruang dan rencana pengelolaan DAS lintas pemda dan lintas sektor sebagai acuan pengelolaan SDA; melakukan reboisasi atau penghijauan lingkungan untuk mempertahankan kawasan bervegetasi; melakukan penanaman hutan dan tanaman dalam bentuk agroforestry.

Kata kunci: debit andalan; hidrologi; *Interpretive Structural Modelling/ISM*; koefisien rezim aliran; penggunaan lahan

I. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu kesatuan wilayah daratan beserta sungai dan anak-anak sungainya yang secara alami berfungsi untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan menuju ke danau atau ke laut (Asdak, 2010). DAS mempunyai peran penting bagi keberlanjutan ekosistem dan berfungsi juga penyediaan sumberdaya air (Chen *et al.*, 2021). Pengelolaan DAS yang berkelanjutan menjadi kunci untuk menjaga keseimbangan antara pemenuhan kebutuhan manusia dan kelestarian lingkungan sehingga harus dilakukan dari hulu hingga hilir dengan

mempertimbangkan interaksi berbagai aspek geo-fisik dan sosial-ekonomi.

Namun beberapa dekade terakhir terjadi perubahan penggunaan lahan secara masif dan tidak terkendali di wilayah DAS telah menyebabkan berbagai dampak negatif banjir, tanah longsor, kekeringan, erosi dan kehilangan unsur hara, kehilangan keanekaragaman hayati (Gao, Chen, Luo, & Wang, 2020; Rápalo *et al.*, 2021). Perubahan fungsi lahan hutan menjadi permukiman, perkebunan, pertanian, dan pertambangan pada wilayah DAS dapat berpengaruh terhadap debit aliran sungai (Aghsaei *et al.*, 2020; Ullah, Jiang, & Wang, 2018).

Debit aliran sungai diperlukan untuk menggambarkan ketersediaan air sungai pada periode tertentu. Dalam konteks perencanaan sumber daya air, analisis debit andalan dapat digunakan untuk menggambarkan debit minimum tertentu pada suatu sungai yang kejadiannya dihubungkan dengan probabilitas atau periode ulang tertentu (Triatmodjo, 2022; Zelelew & Melesse, 2018). Debit ini merupakan debit minimum pada tingkat peluang tertentu yang dapat digunakan untuk menentukan atau menduga keandalan sumber air atau sungai dalam menyediakan air baku. Selain itu, analisis debit andalan diperlukan untuk memastikan tidak terjadi kekurangan pasokan air terutama pada musim kering serta untuk menyusun strategi konservasi air secara berkelanjutan (Kayitesi, Guzha, & Mariethoz, 2022).

Proses terjadinya hujan, aliran permukaan dan debit sungai memberikan informasi yang penting bagi pengambil kebijakan dalam perencanaan pengelolaan DAS (Zelelew & Melesse, 2018). Pengelolaan DAS memerlukan perencanaan penggunaan lahan yang efektif dan berkelanjutan (Dhaouadi, Kefi, Tarkhani, Stambouli, & Chkirbene, 2020). Ketersediaan air sungai yang ditunjukkan dari debit sungai menjadi informasi awal dalam penyediaan air bersih. Sebagaimana diketahui air bersih merupakan sumberdaya yang terbatas dan saat ini terus menghadapi ancaman baik kualitas maupun kuantitasnya (Alcamo, 2019; Muis, 2019; Seelen, Flaim, Jennings, & De Senerpont Domis, 2019).

Salah satu sumber air baku Kota Bengkulu berasal dari Sungai Bengkulu di

DAS Bengkulu. Namun, penelitian sebelumnya kawasan DAS ini telah menunjukkan degradasi tutupan lahan akibat terjadinya alih fungsi lahan dan adanya aktivitas yang ekstraktif pada bagian hulu seperti permukiman, industri, pertanian, peternakan, pertambangan (Arnop, Budiyanto, & Rustama, 2019; Satmaidi, Muthia, & Wulandari, 2018; Supriyono, Citra, Sulisty, & Barchia, 2017). Kondisi ini berpotensi mengganggu kestabilan debit aliran sungai, mempercepat aliran permukaan dan menurunnnya kapasitas penyimpanan air alami DAS sehingga dapat menjadi ancaman bagi keberlanjutan sumberdaya air di wilayah tersebut. Perubahan morfologi DAS, degradasi lahan, serta dinamika curah hujan menjadikan estimasi dan analisis debit andalan semakin penting sebagai dasar teknis perencanaan pasokan air dan rujukan dalam penyusunan kebijakan pengelolaan DAS (Ranjan & Singh, 2022; Simonovic, 2020). Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit andalan Sungai Bengkulu dan menyusun kebijakan pengelolaan DAS Bengkulu secara berkelanjutan.

II. BAHAN DAN METODE

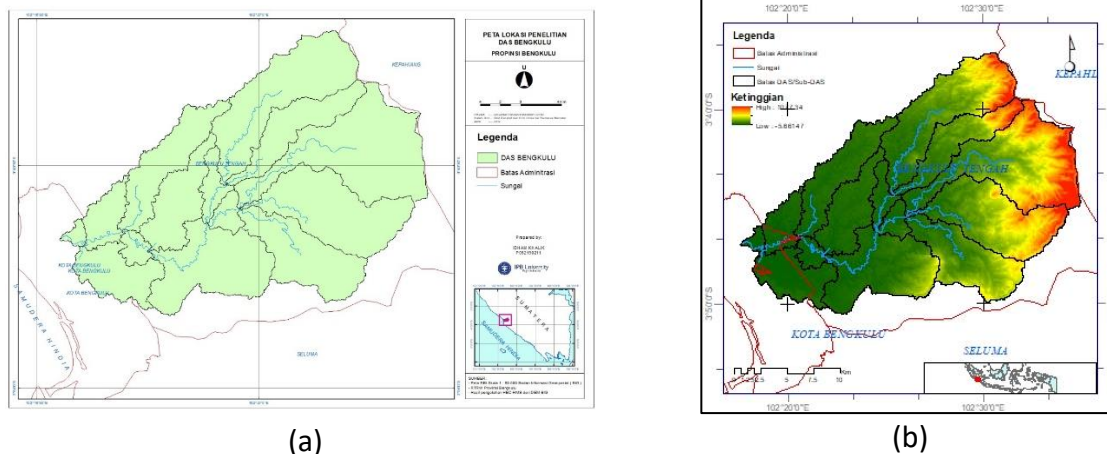
A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2021 hingga Agustus 2021. Lokasi penelitian di DAS Bengkulu pada koordinat 102°14'39" - 102°35'00" BT dan 3°37'6"- 3°50'33" LS yang meliputi wilayah Kota Bengkulu dan Kabupaten Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu. Wilayah DAS tersebut memiliki sungai utama yang secara geografis potensial untuk dijadikan

sebagai sumber air baku di Kota Bengkulu (Gambar 1). DAS Bengkulu memiliki luas 473,65 km² dengan panjang sungai utama mencapai 53,30 km.

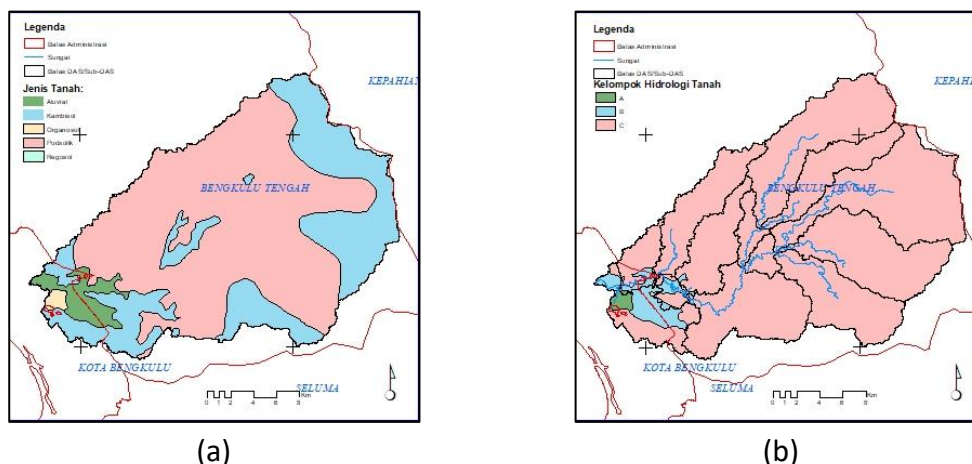
Topografi wilayah DAS Bengkulu dapat diklasifikasi menjadi tiga yaitu: daerah dengan ketinggian antara 0-100 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan diklasifikasikan sebagai daerah dataran rendah; daerah dengan ketinggian 100-1.000 mdpl yang berada di wilayah timur yang merupakan lereng pegunungan Bukit Barisan dan diklasifikasikan sebagai daerah bukit; dan daerah dengan ketinggian lebih dari 1.000 mdpl yang juga berada di wilayah timur sampai ke puncak pegunungan Bukit Barisan yang umumnya daerah kegiatan vulkanis dan tektonis. Gambar 1 menunjukkan kondisi topografi

DAS Bengkulu. Selanjutnya klasifikasi jenis tanah pada lokasi penelitian meliputi aluvial, kambisol, organosol, podsolik, dan regosol. Jenis tanah yang mendominasi DAS Bengkulu adalah podsolik mencapai 298,50 km² (63,02%). Klasifikasi tanah berdasarkan kelompok hidrologi tanah meliputi yaitu: kelompok A (potensi air larian paling kecil, termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu dan liat); B (potensi air larian kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari A, tekstur halus sampai sedang); dan C (potensi air larian sedang, tanah dangkal dan cukup liat; tekstur sedang sampai halus). Sebagian besar luas wilayah DAS termasuk dalam kelompok C terutama pada bagian hulu DAS sedangkan pada bagian hilir umumnya termasuk dalam kelompok B dan A (Gambar 2).



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian (a) dan Peta topografi DAS Bengkulu (b) (Research location map (a) and Topographic map of Bengkulu watershed (b))

Sumber (Source): BPDASHL Ketahun-Bengkulu 2023



Gambar (Figure) 2. Deliniasi Jenis Tanah (a) dan Kelompok Hidrologi Tanah (b) (*Deliniation of Soil Types (a) Soil Hydrology Group (b)*)

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

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain peta administrasi, peta rencana tata ruang, peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, peta *digital elevation model* (DEM). Selain itu data curah hujan harian berasal dari empat pos pengamatan

hujan yaitu Bajak, Baturaja, Serumbung, dan Tanjung Jaya-Surabaya, serta data debit harian hasil pengukuran Pos Duga Air Bengkulu Hilir (rincian disajikan pada Tabel 1). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini berupa alat tulis, seperangkat komputer dengan *software* ArcGIS 10.8, HEC-HMS 4.7, *Exsimpro* dengan lisensi PSL-IPB University dan *Microsoft Office*.

Tabel (Table) 1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian (*Materials used in the study*)

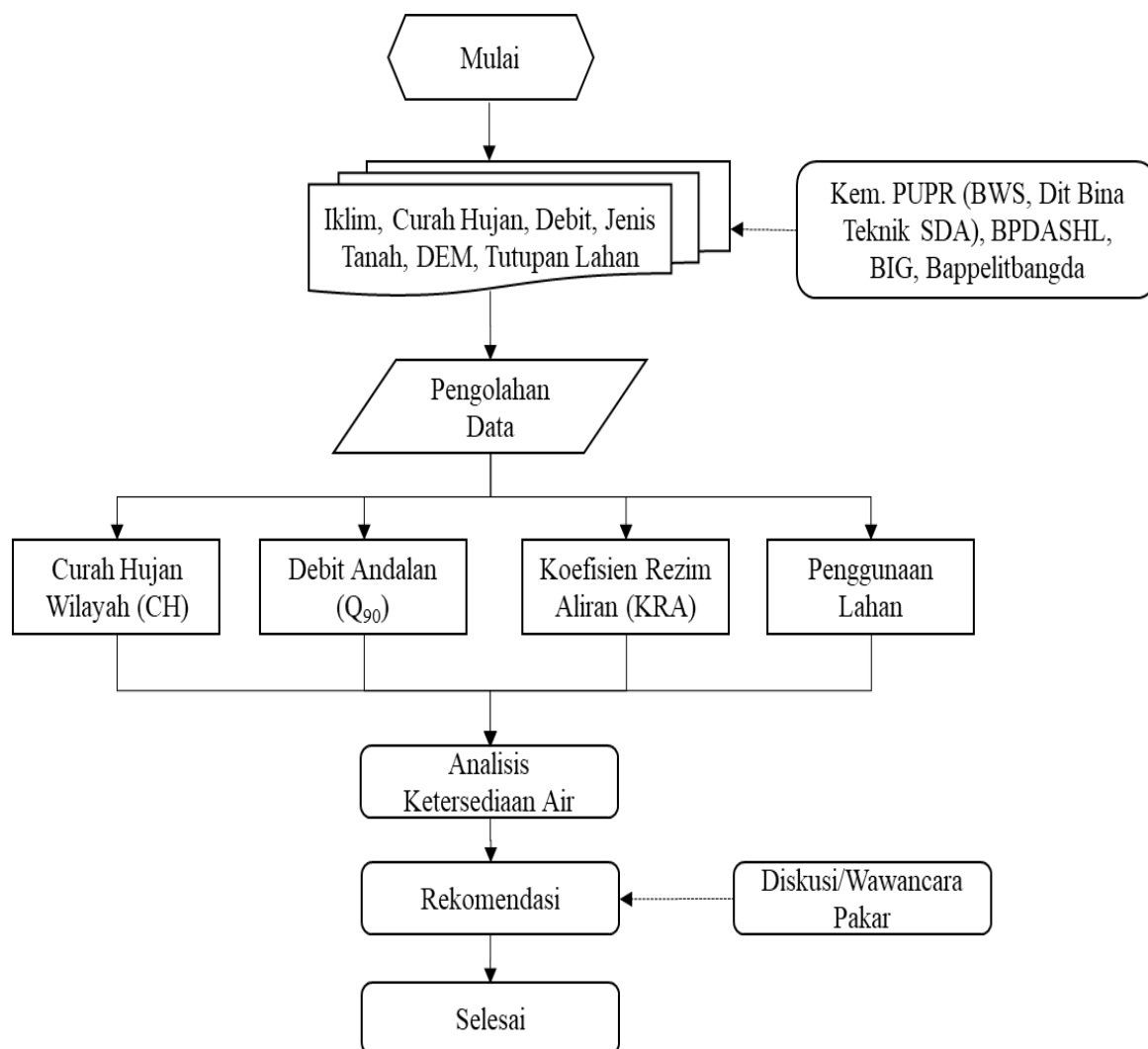
No	Bahan	Sumber
1	Peta digital penggunaan lahan DAS Tahun 1990, 2000, 2020 Skala 1:250.000	BPDAS-HL Ketahun-Bengkulu; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
2	Peta digital jenis tanah DAS Skala 1:250.000	BPDASHL Ketahun-Bengkulu; Rencana Tata ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Bengkulu 2012-2032
3	Data curah hujan harian Tahun 1990-2019	Direktorat Bina Teknik SDA, Kementerian PUPR
4	Data debit sungai harian Tahun 1990-2019	Direktorat Bina Teknik SDA, Kementerian PUPR
5	Data Iklim dan Klimatologi Tahun 1990-2019	Direktorat Bina Teknik SDA, Kementerian PUPR; Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Bengkulu
6	Peta <i>Digital Elevation Model</i> (DEM)	Badan Informasi Geospasial (BIG): https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/demnas
7	Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1: 50.000	Badan Informasi Geospasial (BIG)
8	Peta administrasi dan RTRW Provinsi Bengkulu 2012-2032	Bappelitbangda Provinsi Bengkulu

C. Metode Penelitian

1. Tahapan dan prosedur penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian diawali dengan pengumpulan dan pengolahan data biofisik DAS kemudian dilanjutkan dengan diskusi dengan pakar. Data biofisik DAS dikumpulkan dari berbagai instansi dan dinas terkait. Pengolahan data meliputi deliniasi batas DAS, analisis curah hujan wilayah, debit sungai, koefisien rezim aliran, perubahan penggunaan lahan dan

analisis ketersediaan air. Pada bagian akhir dilakukan diskusi dan wawancara dilakukan terhadap 7 orang pakar terdiri atas akademisi, pemerintah (BPDAS Ketahun dan DLHK Provinsi Bengkulu), DPRD, Tokoh Masyarakat dan PDAM. Wawancara pakar bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan dan menyusun rekomendasi kebijakan pengelolaan DAS Bengkulu. Kerangka tahapan penelitian disajikan pada Gambar 3.



Gambar (Figure) 3. Diagram alir penelitian (Research flowchart)

2. Analisis penggunaan lahan

Analisis penggunaan lahan diawali dengan penentuan batas DAS. Dalam studi ini, data yang digunakan dalam proses deliniasi batas DAS adalah data raster DEMNAS. Pengolahan data DEM meliputi: penggabungan mosaik raster DEM (*mosaic to raster*), membuat proyeksi sistem koordinat (*project raster*) menjadi UTM (*Universal Transverse Mercator*) pada zona 48S dan pemotongan wilayah kajian (*clip*). Proses delineasi batas DAS dilakukan dengan menggunakan *software* HEC-HMS 4.7 dengan tahapan sebagai berikut (Al Amin, Toyfur, Fransiska, & Marlina, 2020): 1) pembuatan dan pengaturan *Basin Model*, 2) pembuatan *Terrain Model*, dan 3) pemrosesan GIS. Data batas DAS yang berasal dari BPDAS-HL digunakan sebagai orientasi batas DAS Bengkulu. Selanjutnya dilakukan analisis penggunaan lahan dan perubahannya menggunakan *ArcGIS 10.8*. Luasan perubahan penggunaan lahan dihitung masing-masing tipe penggunaan lahan pada periode tertentu. Hasil analisis ini untuk memberikan gambaran mengenai kondisi biofisik DAS. Kemudian dianalisis secara deskriptif dengan mengklasifikasi penggunaan lahan dan membandingkan luas pola perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada wilayah DAS menggunakan Rumus 1 berikut.

$$\text{Perubahan luas (\%)} = \frac{\text{LU akhir}_i - \text{LU awal}_i}{\text{LU awal}_i} \quad (1)$$

Keterangan (*Remarks*):

LU = Luas penggunaan lahan (ha)

I = Tipe penggunaan lahan.

3. Analisis curah hujan wilayah

Dalam penelitian ini analisis curah hujan wilayah menggunakan metode *polygon Thiessen*. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran sumber air masukan yang ada dalam wilayah DAS. Penentuan curah hujan pada wilayah DAS ditentukan menggunakan metode *Polygon Thiessen*. Metode ini dapat memberikan hasil yang lebih teliti untuk menentukan curah hujan suatu wilayah berdasarkan data dari masing-masing pos hujan yang terdekat (Arun. Kumar, Singh, Jena, Chatterjee, & Mishra, 2015). Batas wilayah pos hujan ditentukan dengan membuat garis batas tegak lurus di antara dua pos hujan yang berdekatan, kemudian di-*overlay* dengan batas DAS. Luas wilayah perpotongan batas DAS dengan poligon yang terbentuk dari batas pos hujan menjadi pengali dengan curah hujan pada wilayah tersebut. Perhitungan rata-rata curah hujan wilayah dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut (Mananoma, Ratu, & Moningka, 2024).

$$d = \frac{A_1.d_1 + A_2.d_2 + A_3.d_3 + \dots A_n.d_n}{A} = \frac{\sum A_n.d_n}{A} \quad (2)$$

Keterangan (*Remarks*):

D = rata-rata curah hujan wilayah

A = Luas wilayah (Km²),

d₁, d₂, d₃,...d_n = curah hujan pada masing-masing pos hujan 1, 2, 3,...n

A₁, A₂, A₃,...A_n = Luas daerah pengaruh pos hujan 1, 2, 3,...n.

4. Koefisien rezim aliran

Perhitungan Koefisien Rezim Aliran (KRA) dilakukan dengan membandingkan nilai debit maksimum (Q_{maks}) dengan nilai debit minimum (Q_{min}) pada suatu DAS. Semakin tinggi nilai rasio antara debit maksimum dan minimum menunjukkan bahwa semakin tidak meratanya debit aliran yang terjadi sepanjang tahun (Asdak, 2010). Debit yang tidak merata memberikan informasi bahwa daya resap lahan yang tidak mampu menahan dan menyimpan air pada DAS tersebut. Berdasarkan Permenhut No. P.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, KRA dapat dihitung dengan Rumus 3. Berdasarkan rasio debit maksimum dan minimum tersebut dapat dilakukan klasifikasi KRA dengan kriteria berikut: (i) $KRA \leq 20$ (Sangat Rendah); (ii) $20 < KRA \leq 50$ (Rendah); (iii) $50 < KRA \leq 80$ (Sedang); (iv) $80 < KRA \leq 110$ (Tinggi); dan (v) $KRA > 110$ (Sangat Tinggi).

$$KRA = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \quad (3)$$

Keterangan (*Remarks*):

KRA = Koefisien Rezim Aliran
 Q_{max} = Debit maksimum (m^3/s)
 Q_{min} = Debit minimum (m^3/s)

5. Debit andalan

Penentuan debit andalan sungai mengacu pada SNI Nomor 6738:2015 tentang Perhitungan Debit Andalan Sungai dengan Kurva Durasi Debit. Data yang digunakan adalah debit Sungai Bengkulu Pos Duga Air Bengkulu Hilir periode 2008-2020, dengan interval debit bulanan. Data awal yang dikumpulkan berupa data debit harian

kemudian dijadikan debit rata-rata bulanan. Selanjutnya keseluruhan data debit tersebut diurutkan dari terbesar hingga terkecil dan dibuat kurva durasi debit dengan probabilitas 90% (Q_{90}). Kurva durasi debit merupakan kurva frekuensi kumulatif yang menunjukkan persentase pada waktu tertentu dimana debit disamai atau dilampaui selama periode tertentu. Kurva debit probabilitas 90% artinya debit yang terjadi sama atau melampaui 9 dari 10 kejadian. Perhitungan probabilitas debit menggunakan Rumus 4.

$$(P(X \geq x) = \frac{m}{n+1} * 100\%) \quad (4)$$

Keterangan (*Remarks*):

$(P(X \geq x))$ = Probabilitas terjadinya variabel X (debit) $\geq x$ ($m^3/detik$)
 n = Jumlah data
 m = Peringkat data atau nomor urut dari 1 s/d jumlah data (n), setelah data debit bulanan diurut dari terbesar ke terkecil
 X = Seri data debit
 x = Debit andalan probabilitas

Apabila hasil perhitungan debit andalan berdasarkan probabilitas 90% tidak sesuai dengan yang diinginkan maka dapat dilakukan interpolasi.

6. Analisis ketersediaan air

Analisis ketersediaan air Sungai Bengkulu dilakukan berdasarkan perhitungan debit andalan. Analisis ini menggambarkan volume aliran air yang dapat digunakan sebagai air baku untuk memenuhi kapasitas PDAM di Kota Bengkulu. Probabilitas debit andalan yang digunakan adalah 90% karena penggunaan air sungai untuk air baku. Selanjutnya berdasarkan debit andalan, dilakukan perhitungan total volume

aliran air sungai yang kemudian dikonversi menjadi volume tahunan.

7. Identifikasi elemen kunci kendala dan permasalahan pengelolaan DAS

Metode analisis yang digunakan adalah *Interpretive Structural Model* (ISM). Menurut Kumar and Singh (2019) teknik ISM mampu menginterpretasikan struktur berupa hubungan antar elemen dari suatu sistem yang didasarkan atas hubungan kontekstual tertentu. Metode ini memungkinkan untuk menyusun hierarki, menentukan faktor pendorong (*driver power*) dan tingkat ketergantungan (*dependence*) antar elemen serta mengklasifikasi elemen suatu program sehingga dapat digunakan dalam perumusan kebijakan dan perencanaan strategis. Lebih lanjut dinyatakan bahwa metode ISM memungkinkan dapat mengubah model atau elemen sistem yang tidak jelas dan sulit diartikulasikan menjadi model yang lebih jelas dan terdefinisi dengan baik. Berdasarkan sub-elemen yang telah teridentifikasi dapat disusun hubungan kontekstual antar-sub elemen dengan perbandingan berpasangan dan terakhir dapat diketahui sub-elemen kendala atau permasalahan kunci dalam pengelolaan DAS. ISM dapat digunakan sebagai alat perumusan kebijakan manajemen, menganalisis dan memecahkan masalah yang kompleks dan abstrak. ISM memungkinkan pengambilan keputusan menjadi lebih efektif, lancar, dan efisien. Hasil yang didapat dari wawancara dengan para pakar diperoleh elemen kunci permasalahan dan kendala pengelolaan

DAS. Berikut secara ringkas deskripsi tahapan teknik ISM adalah:

- a. Identifikasi elemen; elemen sistem diidentifikasi dan didaftar, yang diperoleh melalui penelitian, *brainstorming*, dan sebagainya.
- b. Hubungan kontekstual; sebuah hubungan kontekstual antar elemen dibangun, tergantung pada tujuan pemodelan.
- c. Matriks interaksi tunggal terstruktur (*structural self-interaction matrix/SSIM*) dengan menggunakan simbol V, A, X, dan O.
- d. Matriks Reachability (*Reachability Matrix/RM*) dengan mengubah simbol-simbol SSIM ke dalam sebuah matriks biner (1 dan 0).
- e. Tingkat partisipasi dilakukan untuk mengklasifikasi elemen-elemen dalam level-level yang berbeda dari struktur ISM.
- f. Matriks Conical; pengelompokan elemen-elemen dalam level yang sama.
- g. Di-graph, konsep yang berasal dari *directional graph* (di-graph), sebuah grafik dari elemen-elemen yang saling berhubungan secara langsung, dan level hirarki.
- h. *Interpretive Structural Modeling*; ISM dibangkitkan dengan memindahkan seluruh jumlah elemen dengan deskripsi elemen aktual.

Hasil olahan didapatkan nilai *driver-power* (DP) dan nilai *dependence* (D) untuk menentukan klasifikasi sub elemen. Secara garis besar klasifikasi sub elemen digolongkan dalam 4

(empat) sektor (Shamsuzzoha & Piya, 2020), yaitu:

- Kuadran *autonomus: weak driver–weak dependence variabel*. Sub-elemen ini pada umumnya tidak berkaitan dengan sistem dan mungkin mempunyai hubungan sedikit, meskipun hubungan tersebut bisa saja kuat.
- Kuadran *dependent; weak driver–strongly dependence variabel*. Sub-elemen ini adalah sub elemen yang tindakan bebas.
- Kuadran *linkage; strong driver–strongly dependent variabel*. Sub-elemen yang termasuk dalam sektor ini harus dikaji secara hati-hati, sebab hubungan antara sub-elemen tidak stabil. Setiap tindakan pada sub-elemen memberikan dampak terhadap sub-elemen lainnya dan pengaruh umpan baliknya dapat memperbesar dampak.
- Kuadran *independent: Strong driver-weak dependent variables*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penggunaan lahan DAS

Faktor lain yang memengaruhi sistem hidrologi pada suatu DAS adalah tutupan lahan yang berfungsi untuk menyimpan, menahan dan mengalir air yang jatuh di atasnya. Lahan yang memiliki vegetasi dapat mengubah sifat fisika dan kimia tanah sehingga dapat memengaruhi besar-kecilnya aliran air permukaan (Asdak, 2010). Penggunaan lahan tahun 1990 sampai dengan 2020 meliputi: Hutan Lahan

Kering Sekunder, Belukar, Perkebunan, Pemukiman, Tanah Terbuka, Badan Air, Pertanian Lahan Kering, Pertanian Lahan Kering Campur, Sawah, Hutan Rawa Sekunder, Belukar Rawa, dan Pertambangan (Tabel 2).

Penggunaan lahan DAS Bengkulu terbesar berupa Pertanian Lahan Kering Campur. Penggunaan lahan tersebut merupakan salah satu karakteristik berupa perkebunan yang umumnya dikelola oleh masyarakat dan pada beberapa lokasi dikelola oleh perusahaan perkebunan swasta dengan beberapa komoditas unggulan berupa kelapa sawit dan karet (Wiryo, Senoaji, & Hidayat, 2013). Pada tahun 2020 penggunaan lahan jenis ini mencapai luas 403,94 km² (85,28%). Penggunaan lahan lainnya yang cukup luas adalah berupa perkebunan/kebun dan permukiman masing-masing seluas 19,68 km² (4,15%) dan 15,40 km² (3,25%). Hasil analisis menunjukkan pada periode tersebut masih terjadi penambahan luas perkebunan. Pembukaan perkebunan biasanya dilakukan oleh perusahaan swasta dengan komoditas kelapa sawit, karet, kopi dan lain-lain. Berdasarkan data (BPS, 2020), pada tahun 2019 terdapat seluas 208.627,11 ha perkebunan kelapa sawit yang tersebar pada seluruh kabupaten/kota di Provinsi Bengkulu. Jumlah tersebut telah meningkat dari hanya sekitar 81.082 ha pada tahun 2013. Sedangkan penggunaan lahan berupa permukiman sebagai konsekuensi penambahan penduduk juga terus mengalami terutama pada bagian tengah dan hilir DAS (Gambar 4 dan Gambar 5).

Tabel (Table) 2. Penggunaan lahan DAS Bengkulu periode 1990 s.d 2020 (*Land use of Bengkulu Watershed from 1990 to 2020*)

No	Penggunaan Lahan	1990		2000		2020		Perubahan (1990-2020)	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	34,58	7,30	30,84	6,51	0,00	0,00	-34,58	-7,30
2	Belukar	54,26	11,46	63,26	13,36	1,88	0,40	-52,37	-11,06
3	Perkebunan	0,00	0,00	0,00	0,00	19,68	4,15	19,68	4,15
4	Pemukiman	2,37	0,50	2,32	0,49	15,40	3,25	13,03	2,75
5	Tanah Terbuka	2,17	0,46	2,17	0,46	0,81	0,17	-1,36	-0,29
6	Badan Air	2,56	0,54	2,56	0,54	2,79	0,59	0,24	0,05
7	Pertanian Lahan Kering	2,98	0,63	2,98	0,63	0,00	0,00	-2,98	-0,63
8	Pertanian Lahan Kering Campur	360,61	76,14	364,40	76,94	403,94	85,28	43,33	9,15
9	Sawah	3,39	0,72	3,39	0,72	8,86	1,87	5,47	1,16
10	Hutan Rawa Sekunder	1,73	0,36	1,73	0,36	0,00	0,00	-1,73	-0,36
11	Belukar Rawa	9,00	1,90	0,00	0,00	4,52	0,95	-4,48	-0,95
12	Pertambangan	0,00	0,00	0,00	0,00	15,76	3,33	15,76	3,33
Jumlah		473,64	100	473,64	100	473,64	100		

Sumber (Source): BPDAS-HL Ketahun, diolah 2023 (BPDAS-HL, analysed 2023)

Pada periode 1990-2020 telah terjadi perubahan penggunaan lahan yaitu penambahan luas lahan Pertanian Lahan Kering Campur berasal dari Hutan Lahan Kering Sekunder dan Belukar sebesar 34,58 km² (7,30%) dan 52,37 km² (11,06%). Selain itu, terdapat perubahan lahan menjadi pertambangan seluas 15,76 km² (3,33%). Pertambangan batu bara yang terdapat pada bagian hulu DAS merupakan penggunaan lahan yang berpotensi berpengaruh terhadap sistem hidrologi apabila tidak dikelola dengan baik. Saat ini, pada bagian hilir sungai terdapat banyak sisa kegiatan pertambangan berupa butir-butir batu bara yang terangkut oleh aliran air sehingga dapat menyebabkan pendangkalan dan pencemaran sungai (Wiryo et al., 2013). Selain itu, perubahan penggunaan lahan tersebut dapat menyebabkan peningkatan erosi,

aliran permukaan, dan rata-rata debit aliran sungai (Budiyanto, Tarigan, Sinukaban, & Murtilaksono, 2015; Guzha, Rufino, Okoth, Jacobs, & Nóbrega, 2018).

Areal yang memiliki vegetasi terutama hutan lahan kering sekunder yang sudah berkurang dapat memengaruhi aliran permukaan, debit maksimum sungai akan semakin tinggi dan di sisi lain akan menurunkan debit minimum sungai. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa terjadinya penurunan tutupan hutan berkorelasi signifikan dengan penurunan kapasitas menahan air tanah pada suatu wilayah DAS (Kabeja et al., 2020; Yuono, Putranto, & Tukirun, 2020). Selain itu, perubahan peruntukan lahan juga dapat menyebabkan perubahan kualitas air sungai (Camara, Jamil, & Fikri, 2019; Tahiru, Doke, & Baatuuwie, 2020).

turun hujan. Berdasarkan klasifikasi iklim *Schmidt* dan *Ferguson*, wilayah DAS tersebut termasuk dalam tipe iklim A ($0 \leq Q \leq 0,143$). Nilai Q merupakan rasio antara bulan kering terhadap bulan basah. Hari hujan umumnya terjadi pada bulan Januari-April dan Oktober-Desember. Bulan kering terjadi pada bulan lainnya, namun demikian biasanya masih terjadi hujan.



Sumber (*Source*): BPDAS-HL Bengkulu, diolah 2023 (*BPDAS-HL Bengkulu, analysed 2023*)

Tabel (Table) 3. Ringkasan analisis deskriptif setiap stasiun hujan tahun 1990-2019 (Summary of descriptive analysis based on rainfall stations in 1990-2019)

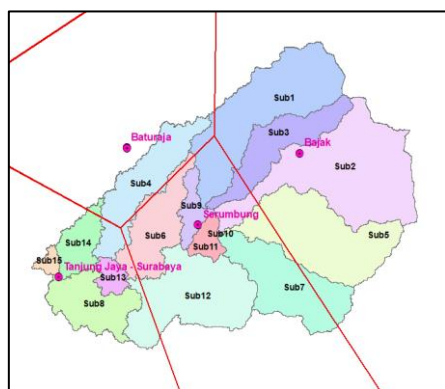
Stasiun Hujan	N	Min	Max	Sum	Mean	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis
Bajak	10.957	0,00	450,00	103.477,00	9,44	20,09	403,64	4,73	44,59
Baturaja	10.896	0,00	392,00	117.684,00	10,80	21,85	477,24	3,82	24,55
Serumbung	10.500	0,00	275,00	86.130,00	8,20	16,64	276,74	3,84	23,52
Tanjung Jaya	10.957	0,00	224,00	83.546,00	7,62	18,02	324,83	4,14	24,49

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

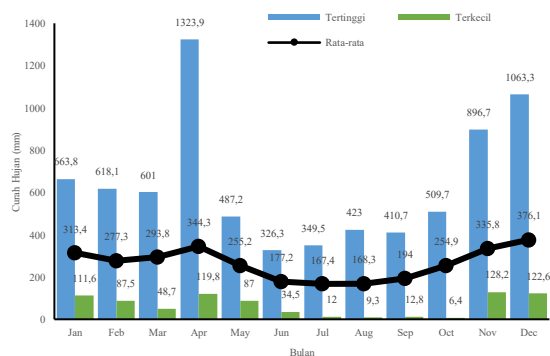
Pada periode tersebut jumlah curah hujan tahunan paling tinggi terjadi pada tahun 1998 tercatat di Pos Hujan Baturaja sebesar 7.730,9 mm dan tahun 2001 sebesar 7.320,0 mm. Sedangkan jumlah curah hujan tahunan paling rendah terjadi pada tahun 2000 di Pos Hujan Serumbung sebesar 752,6 mm dan tahun 2013 di Pos Hujan Bajak sebesar 815,9 mm. Berdasarkan Tabel 3, jumlah curah hujan harian tertinggi pernah terjadi berkisar antara 224,0-450 mm. Secara umum curah hujan harian tertinggi di Stasiun Bajak dan Baturaja.

Gambar 6 menunjukkan poligon yang terbentuk hasil pengolahan untuk mengetahui luas pengaruh masing-masing pos hujan terhadap curah hujan wilayah DAS. Stasiun hujan Bajak mempunyai pengaruh terbesar yaitu 52,31%,

Serumbung sebesar 32,66%, Tanjung Jaya sebesar 14,22% dan Baturaja sebesar 0,81%. Secara umum, pola hujan yang terjadi pada daerah penelitian membentuk huruf U yakni musim kering terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus sedangkan bulan basah terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari. Kondisi iklim ini merupakan karakteristik yang terjadi pada wilayah Pulau Sumatera (Hermawan, 2010). Hasil analisis curah hujan wilayah rata-rata bulanan di DAS Bengkulu berkisar antara 9,3-1.323,9 mm. Curah hujan terendah terjadi pada Agustus 1994 dan tertinggi pada April 2016. Secara keseluruhan curah hujan rata-rata tahunan terkecil terjadi pada tahun 2013 mencapai 1.639,2 mm dan terbesar terjadi pada tahun 1990 mencapai 4.403,3 mm (Gambar 6).



(a)



(b)

Gambar (Figure) 6. Hasil Deliniasi Polygon Thiessen dan Curah hujan wilayah DAS Bengkulu (Polygon Thiessen delineation and rainfall region of Bengkulu watershed)

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

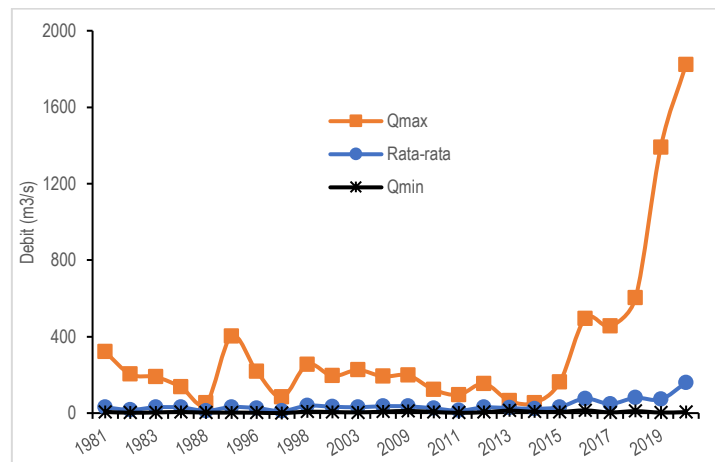
C. Koefisien rezim aliran

Nisbah debit maksimum dan debit minimum yang dikenal dengan Koefisien Rezim Aliran (KRA) menjadi salah satu indikator penilaian kondisi DAS. Pada periode pengukuran 1981-2020 tersedia 24 seri data sedangkan beberapa tahun lainnya data tidak tersedia. Nilai KRA berfluktuatif dari kategori sangat rendah hingga sangat tinggi. Nilai KRA sangat tinggi terjadi pada tahun 2019, 2020 dan 1997 yang mencapai berturut-turut sebesar 469,79, 340,77 dan 333,20. Nilai KRA tersebut menggambarkan tingginya variasi nilai debit maksimum dan debit minimum di DAS Bengkulu (Gambar 7). Hidrograf debit sungai juga menunjukkan bahwa pada beberapa tahun terakhir variasi debit cukup tinggi. Hal ini terjadi selain karena curah hujan yang cukup tinggi pada periode tersebut juga dipengaruhi perubahan tutupan lahan pada wilayah DAS. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian sebelumnya telah terjadi penurunan luas penggunaan lahan berupa hutan menjadi non hutan yang dapat menurunkan kemampuan infiltrasi sehingga mempengaruhi aliran permukaan. Hasil analisis terhadap nilai KRA DAS Bengkulu disajikan pada Gambar 8. Hasil ini sejalan dengan penelitian lain menunjukkan terjadinya ketidakstabilan fungsi hidrologi DAS Bengkulu (Izzatuddinillah, Barus, & Rachman, 2023).

KRA terkecil terjadi pada tahun 2013 dan 2014 berturut-turut sebesar 5,07 dan 7,38. Debit rata-rata tahunan Sungai Bengkulu pada beberapa tahun terakhir menunjukkan tren peningkatan. Debit sungai tertinggi terjadi pada akhir bulan

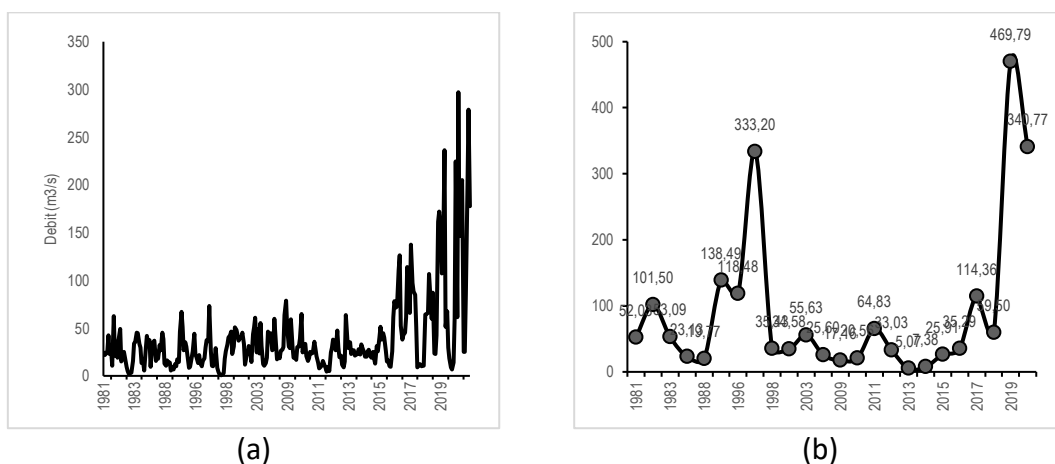
April tahun 2019 yang mencapai 1.390,57 m³/detik, hal ini disebabkan terjadinya hujan wilayah yang cukup tinggi mencapai 600,21 mm. Curah hujan tersebut menyebabkan aliran permukaan yang tinggi karena tanah tidak mampu menyerap semua air hujan. Pada November 2019 debit minimum yang terjadi adalah 2,96 m³/detik karena rata-rata curah hujan yang terjadi pada tengah bulan pertama November 2019 tersebut yang relatif kecil yaitu 4,81 mm. Dengan demikian dapat dipahami bahwa terjadinya fluktuasi debit sungai terkait erat dengan curah hujan yang terjadi pada wilayah DAS Bengkulu. Selain itu, tingginya aliran permukaan juga disebabkan adanya perubahan tutupan lahan (PT PLN (Persero), 2019). Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa pada periode 1990-2016 masih terjadi perubahan tutupan lahan DAS Bengkulu menjadi tanah terbuka dan permukiman (Supriyono *et al.*, 2017).

Kecenderungan peningkatan KRA dapat dikaitkan dengan adanya perubahan iklim global dan perubahan penggunaan lahan DAS. Gambaran mengenai perubahan debit aliran harian yang ekstrim menunjukkan bahwa kondisi DAS mulai terganggu (Asdak, 2010). Terjadinya perubahan penggunaan lahan yang bersifat absolut sehingga dibutuhkan upaya mitigasi dan adaptasi untuk mencegah terjadinya perubahan debit aliran sungai (Yuliasman, 2022). Kebijakan terkait penataan ruang dan pencegahan terjadinya perubahan penggunaan lahan agar dapat lebih dioptimalisasikan.



Gambar (Figure) 7. Debit Rata-rata, Debit Maksimum dan Debit Minimum tahunan Sungai Bengkulu (Average Discharge, Maximum Discharge and Minimum Discharge of Bengkulu River)

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



Gambar (Figure) 8. Hidrograf Debit Sungai Bengkulu Tahun 1981-2020 (a) dan Koefisien Rezim Aliran/KRA (b) (Hydrograph of Bengkulu River Discharge 1981-2020 (a) and Coefficient of Regime Flow (b))

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

D. Analisis Debit Andalan dan Volume Aliran Sungai

Debit andalan adalah besarnya debit minimum tertentu pada suatu sungai yang kejadiannya dihubungkan dengan probabilitas atau periode ulang tertentu (Triatmodjo, 2022). Debit ini merupakan debit minimum pada tingkat peluang tertentu yang dapat dipakai untuk keperluan penyediaan air. Besaran debit andalan ini digunakan untuk menentukan keandalan sumber air atau sungai dalam menyediakan air baku. Persyaratan yang umum digunakan dalam penyediaan air

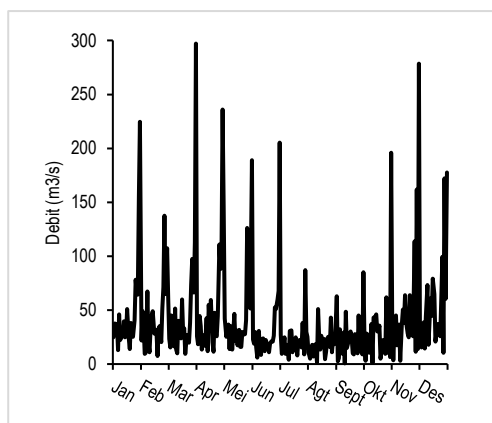
baku adalah debit dengan probabilitas 90%, artinya tingkat kejadian atau probabilitas debit yang kurang (tidak memenuhi) dari nilai tersebut hanya 10%.

Hidrograf debit rata-rata bulanan Sungai Bengkulu pada periode 1981-2020 menunjukkan variasi yang cukup tinggi antara debit maksimum dan debit minimum. Pada bulan Januari-Juni debit sungai berfluktuasi cukup besar. Pada periode bulan Juli-Oktober umumnya debit agak kecil karena musim kemarau. Namun debit kembali tinggi pada saat mulai musim hujan pada November-Desember. Secara

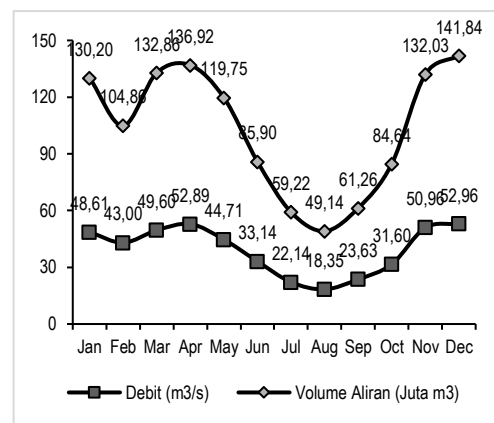
keseluruhan debit rata-rata bulanan Sungai Bengkulu pada periode 1981-2020 berkisar antara 18,35-52,96 m³/s (Gambar 9). Pada musim hujan debit cenderung tinggi sehingga ketersediaan air sungai meningkat dan sebaliknya pada musim kemarau ketersediaan air relatif rendah. Namun demikian debit sungai masih bisa memenuhi kebutuhan air. Berdasarkan nilai debit tersebut maka dapat diketahui besarnya volume aliran sungai. Rata-rata volume aliran berkisar dari tertinggi

mencapai 141,84 juta m³ dan terendah sebesar 49,14 juta m³.

Hasil perhitungan kurva durasi debit menunjukkan bahwa debit andalan dengan probabilitas 90% Sungai Bengkulu adalah 9,75 m³/s (Gambar 10). Berdasarkan besar debit andalan tersebut, maka dapat diketahui total volume aliran air yang tersedia dengan konversi dari m³/det menjadi m³/tahun (nilai debit dikalikan dengan 60 detik*60 menit*24 jam*365 hari). Ketersediaan air adalah sekitar 344,69 juta m³/tahun.



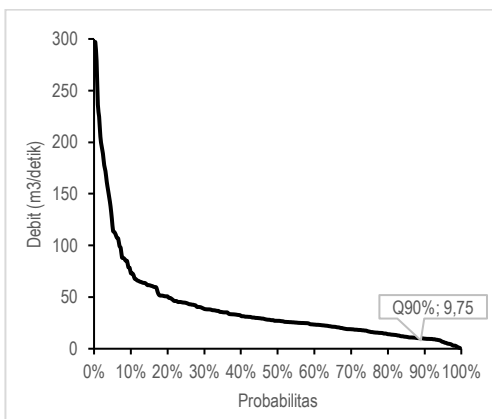
(a)



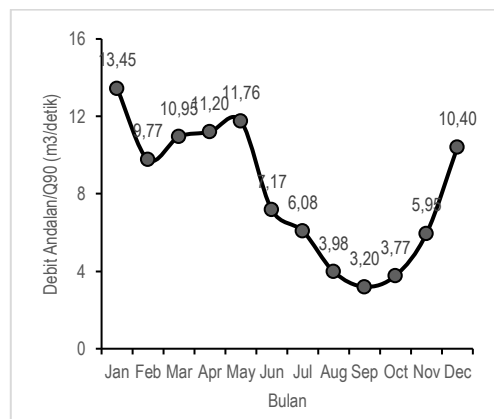
(b)

Gambar (Figure) 9. Hidrograf Debit Rata-rata Bulanan (a) dan Volume Aliran (b) Sungai Bengkulu Tahun 1981-2020 (*Hydrograph of Monthly Average Discharge (a) and Flow Volume (b) of Bengkulu River 1981-2020*)

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



(a)



(b)

Gambar (Figure) 10. Debit Andalan (Q₉₀) (a) dan Debit rata-rata per bulanan (b) Sungai Bengkulu Tahun 1981-2020 (*Dependable Discharge (Q₉₀) (a) and Monthly Average Discharge (b) of Bengkulu River in 1981-2020*)

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

Selanjutnya untuk mendapatkan gambaran mengenai ketersediaan air bulanan digunakan grafik debit andalan 90% bulanan (Gambar 10). Secara umum bulan Juli, Agustus, September dan Oktober memiliki debit yang kecil karena bulan kering atau musim kemarau. Pada bulan-bulan tersebut dimana curah hujan yang kurang sehingga ketersediaan air juga akan berkurang. Hal ini menjadi tantangan yang diperlukan antisipasi dan perhatian oleh berbagai pihak. Sebaliknya pada bulan-bulan lain pada musim basah dengan curah hujan yang tinggi akan terjadi peningkatan debit sungai. Pola grafik tersebut sesuai dengan pola debit sungai umumnya di Sumatera. Walaupun berkurang pada musim kemarau, sungai masih tetap terdapat aliran. Dengan demikian, air sungai masih mampu menyediakan air baku Kota Bengkulu dengan total kapasitas terpasang Perumda Air Minum Kota Bengkulu saat ini sebesar 600 l/detik yang berasal dari Sungai Bengkulu sebesar 200 l/s dan air Sungai Nelas sebesar 400 l/s.

E. Elemen kendala dan permasalahan pengelolaan DAS

Pengelolaan DAS bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara pemenuhan kebutuhan hidup manusia dan keberlanjutan sumberdaya alam (SDA). Namun demikian pengelolaan DAS memiliki berbagai permasalahan dan kendala akibat dari adanya interaksi berbagai elemen yang terlibat, baik aspek biofisik maupun aspek sosial budaya masyarakat di sekitarnya. Interaksi tersebut akan saling terkait dan memberikan dampak positif dan negatif sehingga tidak jarang dalam pemanfaatan SDA menimbulkan 'konflik'. Selain itu, DAS memiliki berbagai jenis penggunaan lahan. Dari sisi kewenangan kelembagaan, pengelolaan DAS perlu melibatkan berbagai *stakeholder* baik pemerintah pusat, pemerintah daerah, badan usaha dan masyarakat. Tujuan pemanfaatan sumberdaya yang tersedia di DAS juga dapat berbeda-beda. Kondisi ini menggambarkan kompleksnya pengelolaan suatu wilayah DAS.

Tabel (Table) 3. Elemen kendala dan permasalahan dalam pengelolaan DAS (*Elements of constraints and problems in watershed management*)

No	Sub Elemen Masalah/Kendala dalam Pengelolaan DAS
1	Peningkatan luas lahan kritis pada wilayah DAS (E1)
2	Terjadinya pencemaran sungai (E2)
3	Kurangnya kemampuan masyarakat dan badan usaha dalam pengelolaan lingkungan (E3)
4	Masih kurangnya koordinasi antar-stakeholder dalam pengelolaan daerah aliran sungai (E4)
5	Rencana tata ruang wilayah (RTRW) belum dijadikan belum tersedia dan/atau arahnya belum dijadikan pedoman dalam pemanfaatan ruang DAS (E5)
6	Mahalnya biaya konservasi DAS dan alokasi anggaran yang masih kurang memadai (E6)
7	Dukungan kebijakan dan peraturan dalam pengelolaan DAS masih belum tersedia dan/atau tumpang tindih termasuk kewenangan lembaga/instansi terkait (E7)
8	Penegakan hukum (law enforcement) belum dilakukan (E8)
9	Erosi, longsor dan sedimentasi yang mengancam pendangkalan sungai (E9)
10	Belum adanya kelembagaan yang melibatkan semua pihak dalam pengelolaan DAS (E10)
11	Kurangnya kepedulian dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sungai (E11)

Sumber (Source): Hasil diskusi pakar 2023 (*Results of experts discussions 2023*)

Sebagai upaya perumusan prioritas kebijakan pengelolaan ketiga DAS tersebut dilakukan identifikasi kendala dan permasalahan berdasarkan perspektif dari pakar. Hasil identifikasi tersebut, kemudian dilakukan strukturisasi dan pemetaan agar permasalahan yang kompleks dapat dirancang alternatif solusi yang memungkinkan bagi pengambil kebijakan. Identifikasi elemen kendala dan permasalahan pengelolaan DAS Bengkulu dilakukan melalui diskusi dan wawancara dengan pakar yang terkait dengan pengelolaan DAS. Beberapa pakar yang terlibat sebanyak 7 orang meliputi akademisi, pemerintah, PDAM, tokoh masyarakat. Elemen kendala dan permasalahan yang teridentifikasi disajikan pada Tabel 3. Dalam pengelolaan DAS elemen-elemen tersebut saling terkait dan pada akhir berimplikasi pada penyediaan air bersih di Kota Bengkulu.

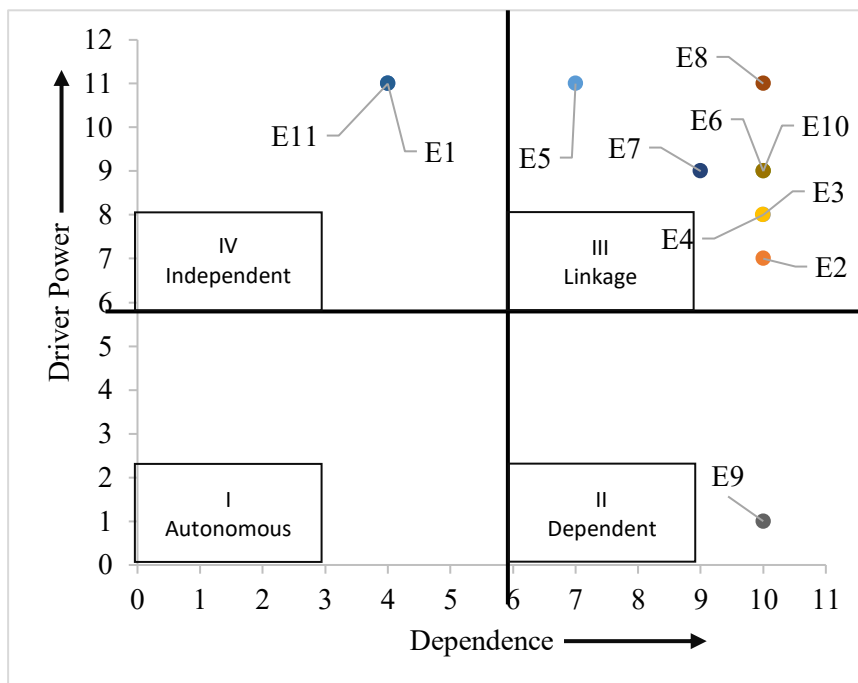
Berdasarkan hasil analisis *Interpretive Structural Modelling* diperoleh gambaran mengenai struktur kendala dan permasalahan dalam pengelolaan DAS Bengkulu. Hubungan kontekstual antar sub-elemen kendala dan permasalahan akan berkontribusi atau menyebabkan sub elemen kendala yang lain. Kendala dan permasalahan utama dalam pengelolaan DAS sub-elemen yang masuk dalam kuadran *independent* memiliki pengaruh besar terhadap sub-elemen lain. Sedangkan sub-elemen yang berada pada kuadran *dependent* dan *linkage* sangat dipengaruhi oleh faktor yang berada pada kuadran *independent*. Berdasarkan Gambar 11, dapat diketahui bahwa beberapa kendala dan permasalahan

terdapat pada kuadran *independent* yaitu kurangnya kepedulian dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sungai (E11), terjadinya peningkatan luas lahan kritis pada wilayah DAS (E1); Rencana Tata Ruang (RTR) DAS belum tersedia dan/atau arahnya belum dijadikan pedoman dalam pemanfaatan ruang daerah tersebut (E5); dan penegakan hukum (*law enforcement*) belum dilakukan (E8). Keempat sub-elemen tersebut berada di kuadran *independent*, memiliki *driver power* yang tinggi dengan tingkat *dependence* rendah.

Sub-elemen kendala tersebut memberikan kontribusi yang tinggi terhadap sub-elemen kendala dan permasalahan lain sehingga elemen ini perlu menjadi prioritas untuk dikelola pada jangka pendek. Selain itu, perubahan yang terjadi dalam sub-elemen ini dapat mempengaruhi sub-elemen kendala yang lain. Pengelolaan jangka pendek perlu lebih memprioritaskan pada faktor-faktor *independent* tersebut. Sebagaimana diketahui kondisi tutupan lahan sangat terkait erat dengan sistem hidrologi. Peningkatan lahan kritis akibat pembukaan lahan pada bagian hulu DAS dapat menyebabkan *cathment area* tidak dapat berfungsi lagi sebagai pengatur tata air maupun penunjang lingkungan. Prioritas berikutnya yang perlu dilakukan adalah sub-elemen terkait dengan mahal biaya konservasi DAS dan alokasi anggaran yang masih kurang memadai (E6), dukungan kebijakan dan peraturan dalam pengelolaan DAS masih belum tersedia dan/atau tumpang tindih termasuk kewenangan lembaga/instansi terkait (E7);

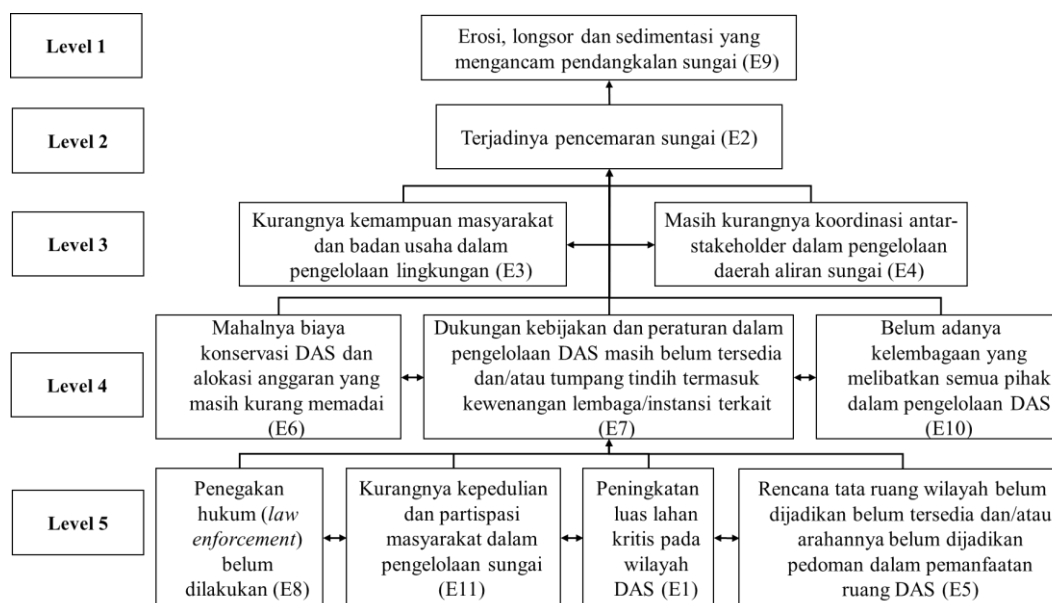
belum adanya kelembagaan yang melibatkan semua pihak dalam pengelolaan DAS (E10); kurangnya kemampuan masyarakat dan badan usaha dalam pengelolaan lingkungan (E3), masih

kurangnya koordinasi antar-stakeholder dalam pengelolaan daerah aliran sungai (E4), terjadinya pencemaran sungai (E2); dan erosi, longsor dan sedimentasi yang mengancam pendangkalan sungai (E9).



Gambar (Figure) 11. Matriks driver power-dependence Sub-elemen kendala dan permasalahan pengelolaan DAS (Power-dependency driver matrix of Sub-elements of constraints and problems in watershed management)

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



Gambar (Figure) 12. Matriks driver power-dependence Sub-elemen kendala dan permasalahan pengelolaan DAS (Power-dependence driver matrix of Sub-elements of constraints and problems in watershed management)

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

Kendala dan permasalahan pada kuadran II memiliki tingkat ketergantungan yang tinggi dan dipengaruhi oleh sub elemen kendala lainnya. Matriks yang menggambarkan hierarki tahapan pengelolaan DAS secara berjangka yang dihasilkan analisis ISM disajikan pada Gambar 12. Hierarki tersebut menunjukkan bahwa level 5 memiliki daya dorong (*driver power*) yang tinggi dan tingkat ketergantungan yang rendah. Sub-elemen pada level ini menjadi prioritas untuk dikelola karena dapat memengaruhi sub-elemen pada bagian atas (level 4), kemudian akan mempengaruhi level 3 dan seterusnya.

Tujuan utama dari pengelolaan DAS adalah untuk menjaga fungsi sistem hidrologi sehingga sungai sebagai salah satu sumber air bagi wilayah bagian hilir dapat terpenuhi secara berkelanjutan. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perilaku debit sangat terkait dengan penggunaan lahan atau perubahan tutupan lahan DAS (Kayitesi et al., 2022; Koneti, Sunkara, & Roy, 2018; Meneses, Reis, Vale, & Saraiva, 2015). Batasan wilayah pengelolaan yang diatur berbasis ekologi DAS dengan melibatkan semua wilayah administrasi terkait. RTR ini dapat menjadi acuan dan secara operasional perlu diintegrasikan kedalam RTRW kabupaten/kota terkait. Dengan demikian arahan penggunaan lahan dan pola ruang dapat disesuaikan dengan berdasarkan fungsinya.

Selain itu, kendala yang masih dihadapi adalah kepedulian dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan wilayah DAS sangat terkait dengan terjadinya

pencemaran sungai. Pada bagian hulu sungai terdapat berbagai penggunaan lahan seperti: permukiman, industri/pabrik, pertambangan, pertanian/peternakan dan industri kecil lainnya. Kesemuanya aktivitas antropogenik tersebut berpotensi sebagai sumber pencemaran baik *point-source* maupun *non-point source* (Jaikawna & Pagdee, 2022; Wilson, 2015). Untuk itu, strategi ke depan diperlukan upaya konservasi untuk mempertahankan pertumbuhan sosial ekonomi dan keberlanjutan ekologi serta perlu melakukan manajemen permintaan air (Xiao-Jun et al., 2011). Selain itu, dalam pengelolaan DAS diperlukan upaya untuk mempertahankan kawasan agar tetap bervegetasi serta diperlukan koordinasi pengelolaan sumber daya air antara para pemangku kepentingan (Surya, Purwanto, Sapei, & Widiatmaka, 2015).

Berdasarkan kendala dan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, diperlukan upaya serius pemerintah untuk menyusun kebijakan pengelolaan DAS secara terintegrasi. Bertolak dari kondisi tersebut, beberapa alternatif kebijakan yang dapat diusulkan, antara lain melakukan upaya konservasi dan perlindungan terhadap kawasan yang ada di bagian hulu. Hal ini sesuai sejalan dengan beberapa kajian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan pentingnya kawasan perlindungan di bagian hulu (BPDASHL Ketahun, 2011; Haryani, Baskoro, & Hidayat, 2023). Memastikan agar struktur penggunaan lahan dapat mendukung konservasi DAS. Kawasan kritis umumnya disebabkan oleh adanya

pembukaan lahan tidak terkendali, tanah terbuka yang menyebabkan terjadinya erosi sehingga lahan tidak berfungsi dengan baik dalam tata air. Pelestarian kawasan hutan peran penting dalam pengaturan sumber daya air pada suatu DAS (Aladejana, Salami, & Adetoro, 2018; Kundu, Khare, & Mondal, 2017). Rencana Tata Ruang (RTR) berbasis DAS yang dapat menjadi acuan bagi semua pihak. Selain itu pemerintah perlu melakukan reboisasi atau penghijauan lingkungan untuk mempertahankan kawasan bervegetasi pada seluruh areal DAS terutama pada bagian hulu; melakukan penanaman hutan dan tanaman dalam bentuk agroforestry. Kegiatan ini diharapkan dapat selain memberikan manfaat ekonomi kepada masyarakat juga tetap memiliki fungsi konservasi.

IV. KESIMPULAN

Pada periode 1990-2020 telah terjadi perubahan penggunaan lahan DAS Bengkulu berupa penurunan Hutan Lahan Kering Sekunder dan terdapat perubahan lahan dari semak belukar menjadi pertanian lahan kering kemudian menjadi pertambangan. Selain itu, debit andalan Sungai Bengkulu dengan probabilitas 90% menunjukkan potensi ketersediaan air yang cukup besar dan masih dapat memenuhi kapasitas terpasang pengolahan air baku di Kota Bengkulu. Nilai nisbah antara debit maksimum dan debit minimum setiap tahun cukup fluktuatif namun adanya tren peningkatan yang mengindikasikan bahwa kondisi DAS mulai terganggu akibat adanya perubahan iklim global dan perubahan tutupan lahan dari hutan menjadi non hutan. Selanjutnya

elemen kendala dan permasalahan yang perlu menjadi prioritas utama dalam pengelolaan DAS yang terdapat pada kuadran *independent* yaitu (i) terjadinya pencemaran sungai; (ii) peningkatan luas lahan kritis pada wilayah DAS; (iii) erosi, longsor dan sedimentasi yang mengancam pendangkalan sungai; dan (iv) Rencana Tata Ruang (RTR) DAS belum tersedia dan/atau arahnya belum dijadikan pedoman dalam pemanfaatan ruang daerah tersebut. Beberapa rekomendasi kebijakan yang perlu dilakukan yaitu: integrasi rencana tata ruang dan rencana pengelolaan DAS lintas pemda dan lintas sektor sebagai acuan pengelolaan SDA; melakukan reboisasi atau penghijauan lingkungan untuk mempertahankan kawasan bervegetasi; melakukan penanaman hutan dan tanaman dalam bentuk agroforestry.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih antara lain kepada Kepala BPDAS-HL Ketahun Bengkulu, Direktur Bina Teknik Sumber Daya Air, Kementerian PUPR atas dukungan data yang diberikan dalam penelitian ini.

KONTRIBUSI

IK: Mengonsep, menulis, mengumpulkan data, dan menganalisis. AS: Membuat konsep, mengoreksi dan meninjau ulang. SH: Membuat konsep, mengoreksi dan meninjau ulang. EA: Membuat konsep, mengoreksi dan meninjau ulang.

DAFTAR PUSTAKA

Aghsaei, H., Dinan, N. M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., &

- Wagner, P. D. (2020). Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, 712(136449), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449>
- Al Amin, M. B., Toyfur, M. F., Fransiska, W., & Marlina, A. (2020). Delineasi DAS dan Elemen Model Hidrologi Menggunakan HEC-HMS Versi 4.4. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9(1), 33–38. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v9i1.37>
- Aladejana, O. O., Salami, A. T., & Adetoro, O.-I. O. (2018). Hydrological responses to land degradation in the Northwest Benin Owena River Basin, Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 225, 300–312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.095>
- Alcamo, J. (2019). Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.11.005>
- Arnop, O., Budiyanto, & Rustama. (2019). Kajian evaluasi mutu Sungai Nelas dengan metode Storet dan Indeks Pencemaran. *Jurnal Naturalis*, 8(1), 15–24.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- BPDASHL Ketahun, [Balai Pengelolaan DAS dan Hutan Lindung Ketahun]. (2011). *Naskah Rencana Pengelolaan DAS terpadu DAS Bengkulu*. Bengkulu [ID]: BPDASHL Ketahun.
- BPS, [Badan Pusat Statistik]. (2020). *Provinsi Bengkulu Dalam Angka 2020*. Bengkulu [ID]: Badan Pusat Statistik.
- Budiyanto, S., Tarigan, S. D., Sinukaban, N., & Murtalaksono, K. (2015). The Impact of Land Use on Hydrological Characteristics in Kaligarang Watershed. *International Journal of Science and Engineering*, 8(2), 125–130. <https://doi.org/10.12777/ijse.8.2.125-130>
- Camara, M., Jamil, N. R., & Fikri, A. B. A. (2019). Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review. *Ecological Processes*, 8(10), 1–10.
- Chen, X., Lee, R. M., Dwivedi, D., Son, K., Fang, Y., Zhang, X., ... Scheibe, T. D. (2021). Integrating field observations and process-based modeling to predict watershed water quality under environmental perturbations. *Journal of Hydrology*, 602(125762), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125762>
- Dhaouadi, S., Kefi, M., Tarkhani, W., Stambouli, T., & Chkirbene, A. (2020). Assessment of the impact of land-cover change on water quality: case study of the Chiba watershed, Nabeul, Tunisia. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 5(57), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00195-7>
- Gao, Y., Chen, J., Luo, H., & Wang, H. (2020). Prediction of hydrological responses to land use change. *Science of The Total Environment*, 708, 134998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134998>
- Guzha, A. C., Rufino, M. C., Okoth, S., Jacobs, S., & Nóbrega, R. L. B. (2018). Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 49–67.

- <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.005>
- Haryani, W. A., Baskoro, D. P. T., & Hidayat, Y. (2023). Analisis perubahan penggunaan lahan di DAS Batang Tabir Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 7(1), 89–104. <https://doi.org/10.59465/jppdas.2023.7.1.89-104>
- Hermawan, E. (2010). Pengelompokan Pola Curah Hujan yang Terjadi di Beberapa Kawasan P. Sumatera Berbasis Hasil Analisis Teknik Spektral. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 11(2). <https://doi.org/10.31172/jmg.v11i2.67>
- Izzatuddinillah, I., Barus, B., & Rachman, L. M. (2023). Analisis Penggunaan Lahan dan Pola Ruang Berbasis Koefisien Regim Aliran (KRA) pada DAS Air Bengkulu. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 25(2), 56–63. <https://doi.org/10.29244/jitl.25.2.56-63>
- Jaikawna, H., & Pagdee, A. (2022). Relationships between land use patterns and water quality in the Pong River Basin, Northeast Thailand. *EnvironmentAsia*, 15(2), 75–85. <https://doi.org/10.14456/ea.2022.35>
- Kabeja, C., Li, R., Guo, J., Rwangabo, D. E. R., Manyifika, M., Gao, Z., ... Zhang, Y. (2020). The impact of reforestation induced land cover change (1990-2017) on flood peak discharge using HEC-HMS hydrological model and satellite observations: A study in two mountain Basins, China. *Water (Switzerland)*, 12(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/W12051347>
- Kayitesi, N. M., Guzha, A. C., & Mariethoz, G. (2022). Impacts of land use land cover change and climate change on river hydro-morphology- a review of research studies in tropical regions. *Journal of Hydrology*, 615, 128702. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128702>
- Koneti, S., Sunkara, S. L., & Roy, P. S. (2018). Hydrological Modeling with Respect to Impact of Land-Use and Land-Cover Change on the Runoff Dynamics in Godavari River Basin Using the HEC-HMS Model. *International Journal of Geo-Information*, 7(206). <https://doi.org/10.3390/ijgi7060206>
- Kumar, Arun., Singh, R., Jena, P. P., Chatterjee, C., & Mishra, A. (2015). Identification of the best multi-model combination for simulating river discharge. *Journal of Hydrology*, 525, 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.060>
- Kumar, Ashok, & Singh, V. (2019). Overview of Interpretive Structural Modeling. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 04(05), 536–540. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2019.v04i05.078>
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017). Past, present and future land use changes and their impact on water balance. *Journal of Environmental Management*, 197, 582–596. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.018>
- Mananoma, T., Ratu, Y. A., & Moningka, F. M. I. (2024). Analysis of Flood Incidents in Manado City due to Rainfall Fluctuations (Case Study of the Tondano Watershed), Indonesia. *The Open Civil Engineering Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.2174/0118741495353862241029214222>
- Meneses, B. M., Reis, R., Vale, M. J., & Saraiva, R. (2015). Land use and land

- cover changes in Zêzere watershed (Portugal) — Water quality implications. *Science of the Total Environment*, 527–528, 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.092>
- Muis, B. A. (2019). Impact of land use change on hydrological response of Krueng Aceh Watershed in Aceh Province, Indonesia. *Nature Environment and Pollution Technology*, 18(4), 1275–1281.
- PT PLN (Persero), [PT Perusahaan Listrik Negara]. (2019). *Studi Banjir dan Genangan Air DAS Musi di Desa Air Hitam dan Desa Tanjung Alam serta Rekomendasi Tindak Lanjut dalam Mengurangi Tingkat Genangan*.
- Ranjan, S., & Singh, V. (2022). HEC-HMS based rainfall-runoff model for Punpun river basin. *Water Practice and Technology*, 17(5), 986–1001. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.033>
- Rápalo, L. M. C., Uliana, E. M., Moreira, M. C., da Silva, D. D., de Melo Ribeiro, C. B., da Cruz, I. F., & dos Reis Pereira, D. (2021). Effects of land-use and -cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38(100934), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100934>
- Satmaidi, E., Muthia, A. A., & Wulandari. (2018). Konsep hukum pengelolaan tambang batubara berkelanjutan berdasarkan pendekatan daerah aliran sungai (DAS) di Provinsi Bengkulu. *Jurnal Bina Hukum Lingkungan*, 2(2), 198–241. <https://doi.org/10.24970/jbhl.v2n2.16>
- Seelen, L. M. S., Flaim, G., Jennings, E., & De Senerpont Domis, L. N. (2019). Saving water for the future: Public awareness of water usage and water quality. *Journal of Environmental Management*, 242, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.047>
- Shamsuzzoha, A., & Piya, S. (2020). Identification and analysis of the driving factors for product modularity by interpretive structural modelling. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 17(4), 1–24.
- Simonovic, S. P. (2020). Systems approach to management of water resources—toward performance based water resources engineering. *Water (Switzerland)*, 12, 1–16. <https://doi.org/10.3390/w12041208>
- Supriyono, Citra, F. W., Sulisty, B., & Barchia, M. F. (2017). Estimasi perubahan tutupan lahan untuk deteksi erosi tanah di catchment area DAS Sungai Bengkulu dengan menggunakan citra Landsat. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Geografi FKIP UMP 2017*, 110–122. Purwokerto.
- Surya, R. A., Purwanto, M. Y. J., Sapei, A., & Widiatmaka. (2015). Analisis Kebijakan Pengelolaan Air Baku Berkelanjutan di Sub DAS Konawe Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 12(3), 263–282. <https://doi.org/10.20886/jakk.2015.12.3.263-282>
- Tahiru, A. A., Doke, D. A., & Baatuuwie, B. N. (2020). Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Applied Water Science*, 10(198), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01272-6>
- Triatmodjo, B. (2022). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ullah, K. A., Jiang, J., & Wang, P. (2018). Land use impacts on surface water quality by statistical approaches. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(2), 231–250.

<https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.02.010>

- Wilson, C. O. (2015). Land use/land cover water quality nexus: quantifying anthropogenic influences on surface water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(424), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4666-4>
- Wiryono, Senoaji, G., & Hidayat, M. F. (2013). *Studi daya tampung dan daya dukung lingkungan daerah aliran sungai (DAS) Air Bengkulu*. Bengkulu [ID].
- Xiao-Jun, W., Jian-Yun, Z., Elmahdi, A., Rui-Min, H., Li-Ru, Z., & Chen, F. (2011). Water demand forecasting under changing environment: A System Dynamics approach. *IAHS-AISH*

Publication, 347(July), 259–266.

- Yuliasman, Y. (2022). *Evaluasi pengaruh perubahan penggunaan lahan dan curah hujan terhadap debit aliran sungai di sub DAS Cisangkuy*. IPB University.
- Yuono, A. L., Putranto, D. D. A., & Tukirun, S. (2020). Effect of Land Use Changes of Upstream Komerling Sub Watershed on Declining Water Availability. *Journal of Ecological Engineering*, 21(2), 126–130.
- Zeleelew, D. G., & Melesse, A. M. (2018). Applicability of a spatially semi-distributed hydrological model for watershed scale runoff estimation in Northwest Ethiopia. *Water (Switzerland)*, 10(7), 10–12. <https://doi.org/10.3390/w10070923>

Halaman ini sengaja di kosongkan

PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KOEFISIEN DAN VOLUME LIMPASAN BANJIR DI DAS KEUREUTO, PROVINSI ACEH

(Land-Use Changes and Their Impact on Runoff Coefficient and Flood Volume in the Keureuto Watershed, Aceh Province)

Cut Nofita¹, Cut Azizah^{1,*}, Halus Satriawan¹, Ridwan Iriadi¹, Sarif Robo², Misnawati³

¹Prodi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan lingkungan Universitas Almuslim
Peusangan Kabupaten Bireuen Provinsi Aceh, satriawanhalus@gmail.com

² Prodi Ilmu Tanah, Universitas Khairun, Ternate, Maluku Utara, sarifrobo5@gmail.com

³ Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta, Indonesia, misnawati@brin.go.id

cut.azizah13@gmail.com

Diterima: 13 Oktober 2024, Direvisi : 22 Desember 2024, Disetujui : 16 September 2025

ABSTRACT

Land-use changes significantly impact watershed hydrology, including increased surface runoff and flood risk. This study uses the Soil Conservation Service–Curve Number (SCS-CN) method to evaluate the impact of land-use changes on the runoff coefficient (C) and flood runoff volume in the Keureuto Watershed in Aceh Province. . Land-use data were analyzed from four time periods: 1990, 2000, 2010, and 2024. Rainfall, soil type, and elevation data were used to calculate CN values, runoff volume, and the runoff coefficient. A land-use transition matrix was used to identify land use conversion patterns, and integrated them into a geographic information system (GIS) for spatial analyses. The results show significant increases in the area of settlements (82.9%), open land (77.4%), and shrubland (45.2%), while primary and secondary forests areas declined by 21.1% and 23.1%, respectively. These changes caused the Curve Number value to increase from 69.5 in 1990 to 71.9 in 2024. The spatial distribution analysis shows increases in areas with medium (28%) and high (6.5%) CN values. In line with the 46.6% increase in rainfall, the surface runoff volume increase from 1,704,979,578 m³ to 2,572,791,394 m³, or by 46.7%. In parallel, the runoff coefficient (C) increased from 0.928 to 0.955, indicating decreased infiltration capacity due to land use changes. These findings suggest that land-use changes directly increase CN and C values, contributing to higher surface runoff and flood risk in the Keureuto Watershed. Therefore, sustainable land-use management and mitigation strategies, such as forest conservation and revegetation, are necessary to control CN values and reduce the runoff coefficient.

Keywords: Disaster; flood; hydrometeorology; runoff; mitigation

ABSTRAK

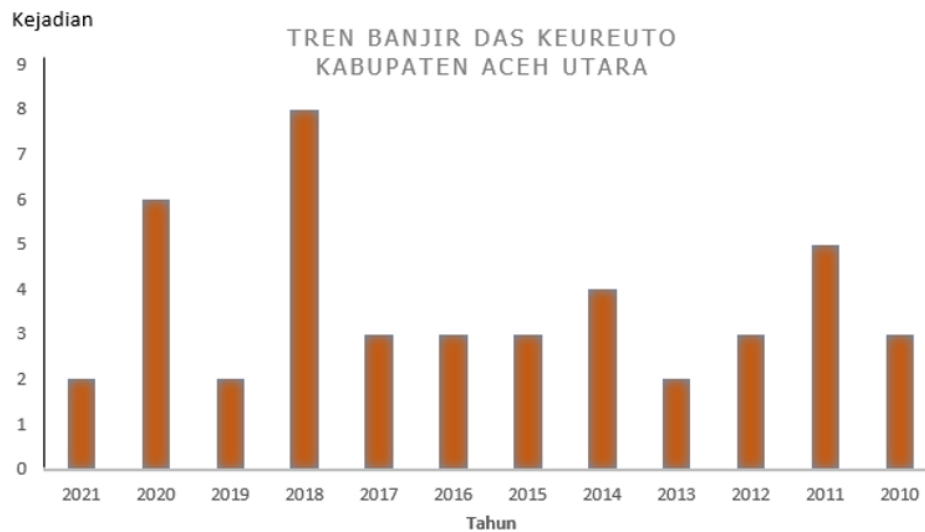
Perubahan penggunaan lahan secara signifikan memengaruhi hidrologi daerah aliran sungai (DAS), termasuk meningkatkan limpasan permukaan dan risiko banjir. Penelitian ini menggunakan metode Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) untuk mengevaluasi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap koefisien limpasan (C) dan volume limpasan banjir di DAS Keureuto, Provinsi Aceh.. Data penggunaan lahan dianalisis untuk empat periode waktu: 1990, 2000, 2010, dan 2024. Data curah hujan, jenis tanah, dan elevasi digunakan untuk menghitung nilai CN, volume limpasan, dan koefisien limpasan. Matriks perubahan lahan digunakan untuk mengidentifikasi pola alih fungsi lahan, yang diintegrasikan dalam sistem informasi geografis (SIG) untuk analisis spasial. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada luas permukiman sebesar 82,9%, lahan terbuka 77,4%, dan belukar 45,2%, sedangkan luas hutan primer dan sekunder menurun masing-masing sebesar 21,1% dan 23,1%. Perubahan ini menyebabkan nilai Curve Number meningkat dari 69,5 pada tahun 1990 menjadi 71,9 pada tahun 2024. Distribusi spasial menunjukkan peningkatan luas wilayah dengan CN menengah (28%) dan CN tinggi (6,5%). Sejalan dengan kenaikan curah hujan sebesar 46,6%, volume limpasan meningkat dari 1.704.979.578 m³ menjadi 2.572.791.394 m³, atau sebesar 46,7%. Secara paralel, koefisien limpasan (C) juga meningkat dari 0,928 menjadi 0,955, menunjukkan penurunan kapasitas infiltrasi akibat alih fungsi lahan. Temuan ini menunjukkan bahwa alih fungsi lahan secara langsung meningkatkan nilai CN dan C, yang berdampak pada peningkatan limpasan permukaan dan risiko banjir di DAS Keureuto. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan tata guna lahan yang berkelanjutan serta strategi mitigasi seperti konservasi hutan dan revegetasi untuk mengendalikan nilai CN dan menurunkan koefisien limpasan.

Kata kunci: Bencana; Banjir; hidrometeorologi; Limpasan; Mitigasi

I. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi paling sering terjadi, dengan tren peningkatan signifikan secara global (CRED, 2024) di Indonesia (BNPB, 2024; Husna *et al.*, 2024), dan Khususnya di Provinsi Aceh (Lizar *et al.*, 2024). Dampak banjir tidak hanya mencakup kerugian ekonomi, kerusakan infrastruktur, dan degradasi lingkungan, tetapi juga korban

jiwa serta keresahan sosial (Azizah *et al.*, 2022; Taguchi *et al.*, 2022). DAS Keureuto, yang terletak di Kabupaten Aceh Utara dan Bener Meriah, merupakan salah satu wilayah dengan frekuensi banjir tinggi (Gambar 1), menyebabkan kerugian besar bagi masyarakat setempat (Gambar 2), termasuk kehilangan nyawa, kerusakan properti, dan kegagalan panen (Wesli, 2011; Agustian *et al.*, 2018).



Gambar (Figure) 1. Tren banjir di DAS Keureuto Kabupaten Aceh Utara (Flood trends in the Keureuto Watershed, North Aceh Regency)

Sumber (Source): Analisis data dibi.bnppb.go.id 2023 (Data analysis of dibi.bnppb.go.id 2023)

Perubahan penggunaan lahan telah diidentifikasi sebagai salah satu faktor utama yang mempengaruhi frekuensi dan intensitas banjir (Sajikumar & Remya, 2015). Proses alih fungsi lahan, seperti deforestasi, urbanisasi, dan intensifikasi pertanian, mengurangi kemampuan infiltrasi tanah, meningkatkan limpasan permukaan, dan memperbesar aliran puncak (Pan *et al.*, 2017; Dadashpoor *et al.*, 2019; Jean Louis *et al.*, 2024). Kondisi ini diperburuk di daerah tropis basah seperti Indonesia. Curah hujan ekstrem yang dipicu oleh perubahan iklim semakin sering terjadi, memperbesar risiko banjir bandang (Furl *et al.*, 2018; Boudou *et al.*, 2021).

Secara hidrologi, mekanisme peningkatan limpasan akibat alih fungsi lahan dapat dijelaskan melalui perubahan komponen siklus hidrologi, termasuk penurunan kapasitas retensi tanah, peningkatan area kedap air, dan percepatan aliran ke badan sungai (Mishra & Singh, 2003). Beberapa metode telah dikembangkan untuk menganalisis

hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan limpasan banjir, seperti simulasi model hidrodinamika spasial atau pendekatan berbasis statistik. Di antara metode tersebut, Curve Number (CN) yang dikembangkan oleh Soil Conservation Service (USDA, 1986) menjadi salah satu yang paling banyak digunakan karena kemudahannya dalam mengestimasi limpasan berdasarkan jenis lahan, kondisi tanah, dan curah hujan (Ponce & Hawkins, 1996). CN tidak hanya membantu menggambarkan variasi spasial limpasan, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar untuk menghitung koefisien limpasan (C), yakni rasio antara volume limpasan dengan curah hujan yang menggambarkan proporsi air hujan yang langsung menjadi aliran permukaan.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan pada DAS lain di Indonesia, kajian yang secara khusus menyoroti dampak perubahan penggunaan lahan terhadap limpasan banjir di DAS Keureuto masih terbatas. Selain itu, belum ada

analisis sistematis yang mengombinasikan metode CN dengan perhitungan koefisien limpasan (C) untuk mengevaluasi perubahan hidrologi akibat alih fungsi lahan di wilayah ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak perubahan penggunaan lahan terhadap limpasan banjir di DAS Keureuto menggunakan pendekatan CN dan C secara terintegrasi. CN digunakan untuk memperkirakan potensi limpasan berdasarkan karakteristik biofisik DAS, sedangkan C memberikan ukuran kuantitatif yang lebih langsung mengenai efisiensi limpasan. Dengan menganalisis perubahan hidrologi melalui kedua indikator ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi pengelolaan tata guna lahan yang lebih baik untuk menurunkan nilai CN, mengurangi koefisien limpasan, dan pada akhirnya mengurangi risiko banjir di masa depan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dikerjakan pada tahun 2024 di DAS Keureuto, Provinsi Aceh. DAS Keureuto memiliki luas 1047,3 km² dan panjang sungai utama mencapai

71,50 km yang berhulu di wilayah Kabupaten Bener Meriah. Hulu sungai ini berada di Pegunungan Bukit Barisan, yang dikenal sebagai Dataran Tinggi Gayo, dan bermuara di Kabupaten Aceh Utara, Kecamatan Lapang. Batas hidrologis DAS Keureuto berbatasan dengan DAS Jambo Aye dan DAS Geukuh di Provinsi Aceh (Gambar 3).

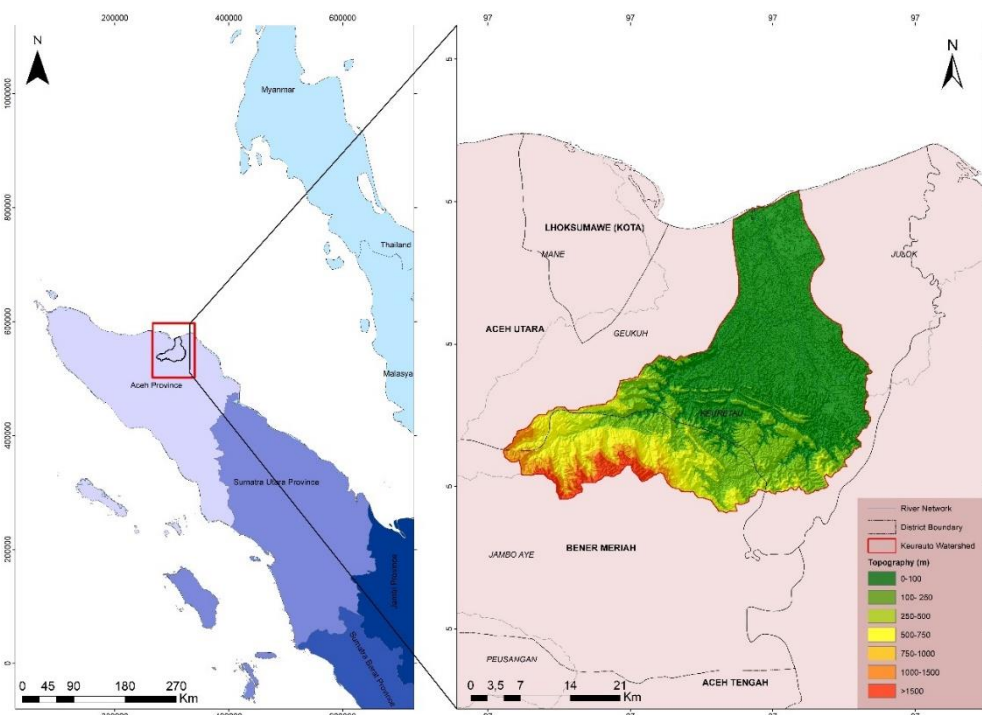
B. Data dan Alat Penelitian

Data yang dipakai terbagi menjadi dua kategori berdasarkan sumbernya: data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan, mencakup kalibrasi dan validasi penggunaan lahan, serta pengamatan dan dokumentasi DAS Keureuto. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari instansi terkait, termasuk citra satelit, informasi curah hujan, tipe tanah, dan catatan kejadian banjir. Seluruh data dianalisis menggunakan aplikasi ArcGIS (Geographic Information System) dan dilakukan *resampling* untuk mendapatkan resolusi 30 meter. Tabel 1 menyajikan rangkuman dataset, resolusi, dan sumber data yang digunakan.



Gambar (Figure) 2. Banjir di DAS Keureuto yang telah menimbulkan kehilangan dan kerugian (*Floods in the Keureuto Watershed have caused loss and damage*)

Sumber (Source): Detiknews, 2022 (Detiknews, 2022)



Gambar (Figure) 3. DAS Keureuto merupakan DAS Regional (pada Wilayah administratif Kabupaten Bener Meriah dan Aceh Utara) di Provinsi Aceh, Indonesia (*Keureuto Watershed is a Regional Watershed (in the administrative area of Bener Meriah and North Aceh Districts) in Aceh Province, Indonesia*)

Sumber (Source): Batas DAS dari KLHK 2012, DEMNAS dari BIG 2024, dan Batas Administrasi dari RBI 2022 (*The watershed boundaries are based on the 2012 delineation by the Ministry of Environment and Forestry (KLHK), the Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) is from the 2024 dataset provided by the Geospatial Information Agency (BIG), and the administrative boundaries are derived from the 2022 Topographic Base Map (RBI).*)

Tabel (Table) 1. Data analisis penelitian (*Research analysis data*)

Data (<i>data</i>)	Resolusi/skala (<i>resolution/scale</i>)	Sumber (<i>Source</i>)
Jenis tanah	1:250.000	<i>Land Resource Evaluation and Planning (LREP), Geospatial Information Agency of Indonesia.</i>
Penggunaan lahan	30 m	Citra landsat, <i>Earth Explorer USGS</i> , dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
Curah Hujan (CHIRPS)	0.05° x 0.05°	<i>The International Research Institute for Climate and Society (IRI) Data Library, USGS</i>

C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif analitik untuk menganalisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap limpasan banjir di DAS Keureuto. Penelitian dilakukan dalam dua tahapan utama,

yaitu analisis perubahan penggunaan lahan dan analisis limpasan permukaan menggunakan metode Curve Number (CN) yang dikembangkan oleh *Soil Conservation Service* (Azizah *et al.*, 2024). Kedua tahapan ini memanfaatkan teknologi sistem

informasi geografis (SIG) untuk integrasi dan analisis data spasial.

Tahap pertama penelitian adalah analisis perubahan penggunaan lahan dari empat periode waktu yang berbeda, yaitu tahun 1990, 2000, 2010, dan 2024. Data penggunaan lahan untuk tahun 1990, 2000, dan 2010 dari KLHK, sedangkan data tahun 2024 dihasilkan melalui interpretasi citra landsat (T47NKF) yang diakuisisi pada 6 Juli 2024. Interpretasi citra dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) yang divalidasi melalui pengecekan lapangan pada 122 titik koordinat untuk memastikan akurasi hasil klasifikasi.

Setiap peta penggunaan lahan diklasifikasikan ke dalam kategori utama, seperti hutan, area pertanian, lahan terbangun, dan badan air. Untuk menganalisis pola perubahan penggunaan lahan, dilakukan perbandingan antar periode dengan menggunakan matriks perubahan penggunaan lahan. Matriks ini disusun dengan membandingkan piksel pada dua peta tahun berbeda untuk setiap kategori lahan, sehingga diperoleh arah dan besaran konversi lahan antar kelas penggunaan.

Tahap kedua adalah analisis limpasan permukaan menggunakan metode *Curve Number* (CN), yang dikembangkan oleh *Soil Conservation Service* (SCS). CN merupakan indeks empiris yang digunakan untuk memperkirakan besarnya limpasan permukaan berdasarkan jenis penggunaan lahan, kondisi tanah, dan kelompok hidrologi tanah (*Hydrological Soil Group*/HSG).

Penentuan nilai CN dilakukan dengan menggabungkan peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah dalam sistem informasi geografis (SIG), kemudian diklasifikasikan berdasarkan tabel standar SCS (USDA, 1986). Setelah nilai CN diperoleh, limpasan permukaan (Q) dihitung menggunakan rumus metode SCS-CN sebagai berikut:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana Q adalah kedalaman limpasan (mm), P adalah curah hujan (mm), I_a adalah kehilangan awal (diasumsikan sebesar $0,2S$), dan S adalah kapasitas simpanan maksimum yang dihitung dengan rumus $S=(25400/CN)-254$. Hasil limpasan dalam bentuk kedalaman (mm) kemudian dikalikan dengan luas DAS Keureuto untuk memperoleh volume limpasan dalam satuan meter kubik (m^3). Perhitungan ini dilakukan untuk seluruh periode analisis guna menilai perubahan limpasan akibat perubahan penggunaan lahan.

Selain itu, untuk menilai efisiensi limpasan dan perubahan kapasitas resapan lahan dari waktu ke waktu, penelitian ini juga menghitung koefisien limpasan (C). Nilai C dihitung sebagai rasio anatar kedalaman limpasan (Q) terhadap curah hujan (P), menggunakan rumus berikut:

$$C = \frac{Q}{P} \dots\dots\dots(2)$$

Nilai C ini menggambarkan proporsi curah hujan yang langsung menjadi limpasan permukaan, dan digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk

membandingkan kondisi hidrologi DAS Keureuto antar periode tahun analisis.

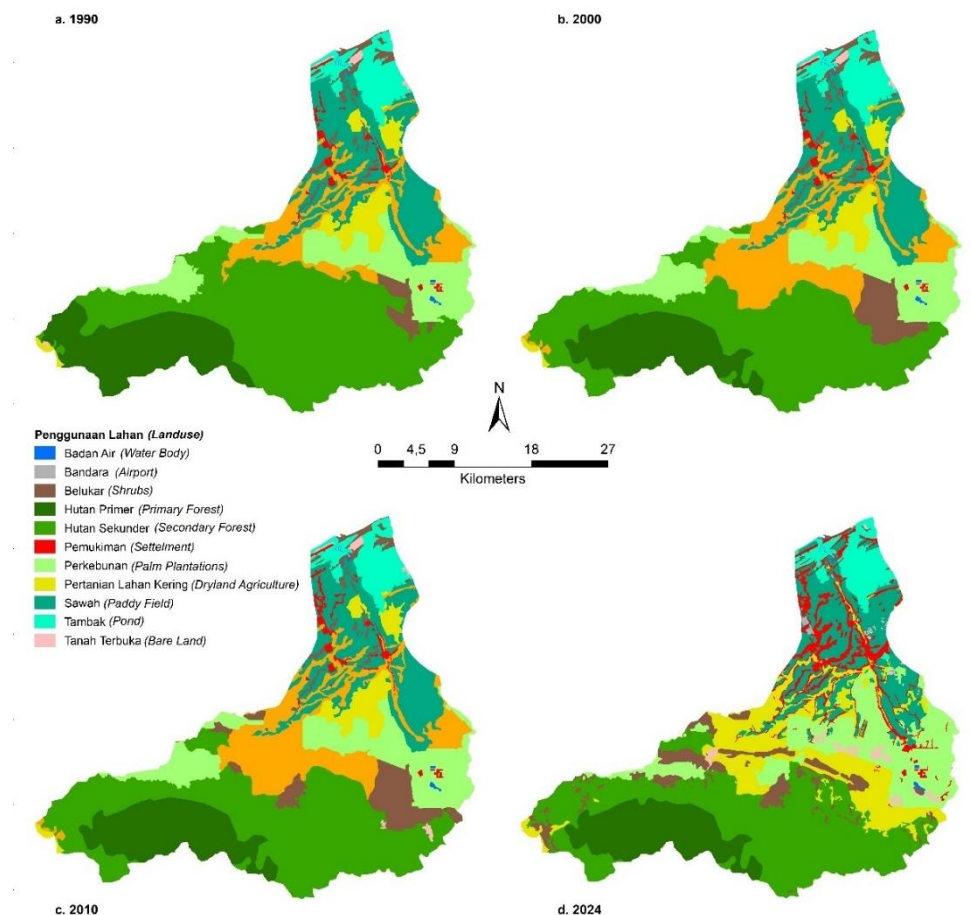
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perubahan penggunaan lahan

Penggunaan lahan merupakan faktor paling signifikan yang secara langsung memengaruhi proses aliran permukaan dan berkontribusi terhadap banjir (Gao *et al.*, 2024; Pal *et al.*, 2022; Sajikumar & Remya, 2015). Hal ini terutama terjadi

Ketika lahan bervegetasi, seperti hutan, di konversi menjadi area terbangun dengan kemampuan resapan yang rendah (Azizah, 2020; Siregar & Koropitan, 2016; Awaliyah Haryani *et al.*, 2023).

Gambar 4 menggambarkan transisi perubahan penggunaan lahan dari tahun 1990 hingga 2024, yang menyoroti pergeseran signifikan penggunaan lahan di DAS Keureuto.



Gambar (Figure) 4. Tren Perubahan Penggunaan Lahan di DAS Keureuto: 1990 hingga 2024 (Land Use Change Trends in the Keureuto Watershed: 1990 to 2024)

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

Perubahan penggunaan lahan di DAS Keureuto selama 34 tahun, berdasarkan Tabel 2, menunjukkan dinamika signifikan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Peningkatan luas lahan permukiman sebesar 82,9 persen, lahan terbuka sebesar 77,4 persen, dan belukar sebesar 45,2 persen dapat dikaitkan dengan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan tekanan kebutuhan lahan untuk aktivitas ekonomi (Agustian *et al.*, 2018; Wesli, 2011). Sebaliknya, hutan primer dan sekunder mengalami penurunan masing-masing sebesar 21,1 persen dan 23,1 persen, yang sebagian besar berubah menjadi belukar, lahan pertanian, dan perkebunan, seperti terlihat pada matriks perubahan penggunaan lahan di Tabel 5.

Faktor sosial-ekonomi menjadi salah satu pendorong utama perubahan ini. Peningkatan populasi dan urbanisasi di wilayah DAS Keureuto telah mendorong alih fungsi lahan hutan dan pertanian menjadi permukiman. Hal ini diperkuat oleh kebutuhan akan infrastruktur dan fasilitas sosial-ekonomi yang lebih memadai (Agustian *et al.*, 2018; Wesli, 2011). Selain itu, kebijakan pemerintah

yang mendorong program swasembada pangan turut berkontribusi terhadap konversi hutan primer dan sekunder menjadi lahan pertanian dan perkebunan. Program ini bertujuan untuk mendukung kemandirian pangan di Aceh, tetapi memiliki dampak pada hilangnya tutupan hutan (Puspitojati, 2013; Lizar *et al.*, 2024). Temuan ini memperkuat bahwa peningkatan risiko banjir di DAS Kereuto berkorelasi dengan alih fungsi lahan dari area berhutan (berkoefisien limpasan rendah) menjadi area pertanian dan permukiman (berkoefisien limpasan tinggi).

B. Perubahan koefisien limpasan

Perubahan penggunaan lahan berdampak signifikan terhadap komponen hidrologi, mencakup produksi air, limpasan permukaan, aliran dasar, erosi, dan sedimentasi (DeFries & Eshleman, 2004; Pawitan, 2014). Limpasan permukaan terjadi ketika kapasitas infiltrasi tanah tidak mampu menampung curah hujan, sehingga kelebihan air mengalir di permukaan.

Tabel (Table) 2. Perubahan penggunaan lahan DAS Kereuto (*Land Use Changes in the Keureuto Watershed*)

Penggunaan Lahan (<i>Land use</i>)	Luas (area) (ha)		Perubahan (<i>Change</i>) (%)
	1990	2024	
Badan air	82,7	78,2	5,5 (-)
Belukar	3.293,6	6.011,5	45,2 (+)
Hutan Primer	14.001,4	11.044,4	21,1 (-)
Hutan Sekunder	39.353,4	30.269,8	23,1 (-)
Pemukiman	1.060,0	6.207,1	82,9 (+)
Perkebunan	12.499,0	15.029,2	16,8 (+)
Pertanian Lahan Kering	13.794,1	14.951,8	7,7 (+)
Sawah	14.173,9	13.660,0	3,6 (-)
Tambak	4.629,1	4.681,9	1,1 (+)
Lahan Terbuka	278,6	1.231,9	77,4 (+)

Dalam kajian hidrologi, dua indikator empiris yang umum digunakan untuk menilai besarnya limpasan adalah CN dan koefisien limpasan (C). CN digunakan untuk memperkirakan potensi limpasan berdasarkan karakteristik penggunaan lahan, kondisi tanah, dan kelompok hidrologi, sedangkan C menggambarkan proporsi curah hujan yang langsung menjadi aliran permukaan. Dengan demikian, CN memberikan dasar estimasi, sementara C menjadi indikator kuantitatif yang lebih langsung dalam menunjukkan efisiensi limpasan suatu DAS (Chin, 2018). Penentuan nilai Curve Number (CN) di DAS Keureuto dilakukan dengan mengombinasikan peta penggunaan lahan dan peta kelompok hidrologi tanah (*Hydrological Soil Group/HSG*). Hasil analisis HSG (Gambar 5) menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh tiga jenis tanah utama: (1) Entisol–Inceptisol yang tergolong HSG A dengan kapasitas infiltrasi tinggi, mencakup 288,7 km²; (2) Inceptisol yang termasuk HSG B dengan kapasitas infiltrasi sedang, seluas 289,5 km²; dan (3) Ultisol yang tergolong HSG D dengan infiltrasi sangat rendah, meliputi 468,9 km². HSG A terutama terdapat di wilayah hulu dengan topografi curam dan tutupan vegetasi relatif baik, sedangkan HSG D lebih banyak ditemukan di bagian tengah dan hilir DAS yang mengalami degradasi vegetasi serta intensifikasi penggunaan lahan. Perbedaan kemampuan infiltrasi antar kelompok tanah ini menjadi faktor kunci dalam penyusunan nilai CN, yang selanjutnya berimplikasi langsung

terhadap besarnya koefisien limpasan (C) sebagai indikator proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan.

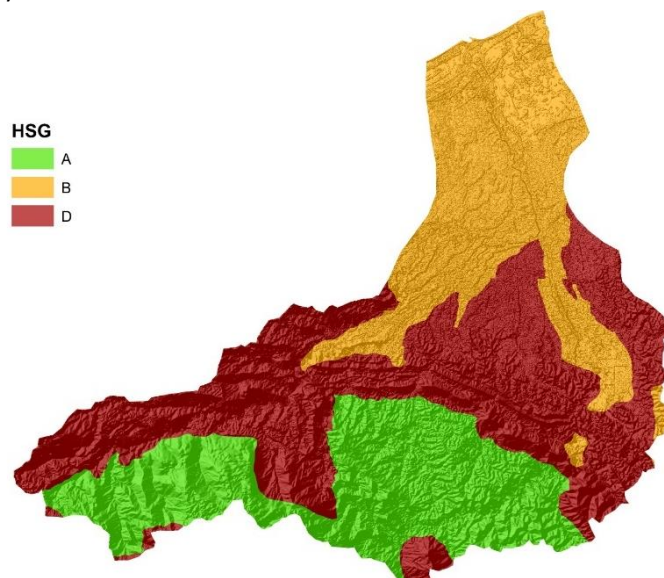
Hasil analisis Curve Number (CN) menunjukkan tren peningkatan nilai rata-rata dari 69,5 pada tahun 1990 menjadi 71,9 pada tahun 2024 (Tabel 3). Kenaikan ini mengindikasikan penurunan kapasitas infiltrasi tanah akibat alih fungsi lahan, yang berdampak pada meningkatnya potensi limpasan permukaan (Azizah *et al.*, 2019). Konsistensi kenaikan CN selama 34 tahun memperlihatkan bahwa perubahan tutupan lahan berkontribusi langsung terhadap meningkatnya risiko banjir, terlebih ketika dikombinasikan dengan kenaikan curah hujan tahunan yang signifikan dari 1.755 mm pada tahun 1990 menjadi 2.572 mm pada tahun 2024. Kondisi tersebut tidak hanya menandakan semakin tingginya potensi limpasan, tetapi juga tercermin pada meningkatnya koefisien limpasan (C), yang menunjukkan bahwa proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan di DAS Keureuto semakin besar. Dengan demikian, tren ini menegaskan bahwa wilayah DAS Keureuto semakin rentan terhadap kejadian limpasan ekstrem dan banjir.

Proses alih fungsi lahan dari hutan primer dan sekunder menjadi belukar, perkebunan, lahan terbuka, dan permukiman, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2, telah menyebabkan semakin luasnya wilayah dengan nilai CN menengah hingga tinggi. Wilayah dengan CN menengah hingga tinggi memiliki kapasitas infiltrasi yang

rendah, sehingga lebih rentan menghasilkan limpasan permukaan. Kondisi ini diperparah oleh peningkatan curah hujan tahunan, yang mengakibatkan volume limpasan di DAS Keureuto meningkat secara signifikan. Perubahan tersebut tidak hanya tercermin pada kenaikan nilai CN, tetapi juga pada koefisien limpasan (C), yang menunjukkan bahwa sebagian besar curah hujan kini langsung berubah menjadi aliran permukaan. Dengan demikian, alih fungsi lahan berperan ganda, yaitu menurunkan kapasitas infiltrasi tanah sekaligus meningkatkan efisiensi limpasan sebagaimana tercermin dari nilai C yang semakin mendekati 1.

Temuan ini diperkuat oleh hasil simulasi volume limpasan (Q) menggunakan metode SCS, yang menunjukkan bahwa total limpasan permukaan pada tahun 2024 mencapai 2.572.791.394 m³, meningkat sebesar 867.811.816 m³ dibandingkan kondisi tahun 1990 (Tabel 3). Kenaikan volume

limpasan tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan yang semakin tinggi, tetapi juga oleh meningkatnya nilai CN yang merepresentasikan penurunan fungsi resapan lahan. Dengan demikian, tren perubahan ini mencerminkan degradasi kapasitas DAS dalam menahan air hujan. Lebih lanjut, perhitungan koefisien limpasan (C) sebagai rasio antara limpasan dan curah hujan tahunan memperlihatkan peningkatan dari 0,928 pada tahun 1990 menjadi 0,955 pada tahun 2024. Nilai ini mengindikasikan bahwa hampir seluruh curah hujan di DAS Keureuto kini berubah menjadi aliran permukaan, seiring dengan degradasi tutupan lahan dan peningkatan intensitas hujan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa indikator C memberikan gambaran yang lebih langsung mengenai efisiensi limpasan, sekaligus menegaskan semakin besarnya proporsi hujan yang tidak lagi dapat diinfiltrasi oleh tanah.



Gambar (Figure) 5. Distribusi Spasial Kelompok Hidrologi Tanah (*Hydrological Soil Group/HSG*) di DAS Keureuto (*Spatial Distribution of Hydrological Soil Group (HSG) in the Keureuto Watershed*)

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

Tabel (Table) 3. Koefisien CN pada Tahun 1990, 2000, 2010, dan 2024 di DAS Keureuto (Curve Number (CN) Coefficient in the Keureuto Watershed for the Years 1990, 2000, 2010, and 2024)

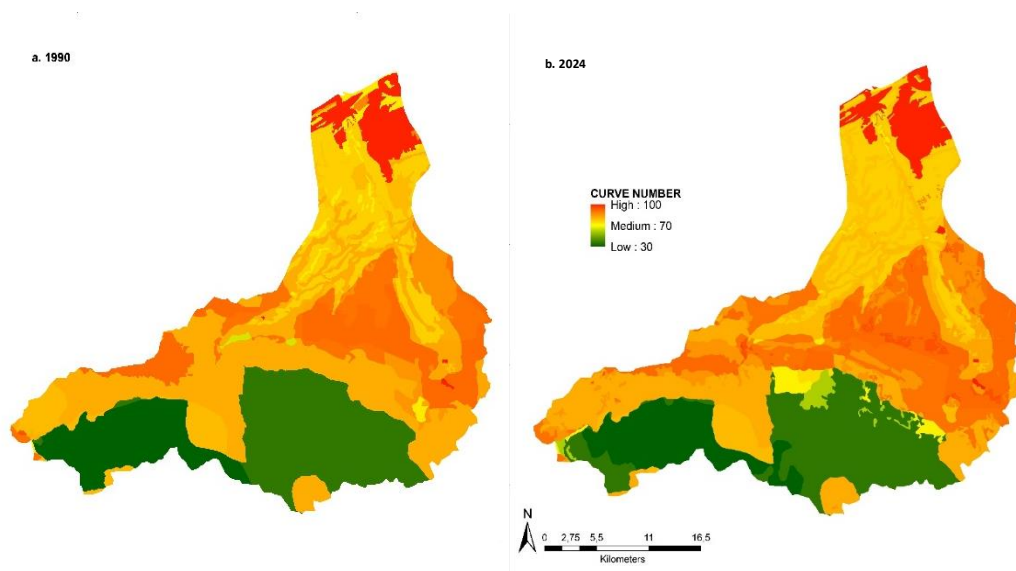
Tahun (Year)	Curah Hujan (Rainfall) (mm)	CN	Q (mm)	C	Volume Limpasan (Q) (m3)
1990	1755	69,5	1627,98	0,928	1.704.979.578
2000	2286	71,2	2167,17	0,948	2.269.674.468
2010	2454	71,4	2335,99	0,952	2.446.484.463
2024	2572	71,9	2456,59	0,955	2.572.791.394

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

Tabel (Table) 4. Luas dan Perubahan Nilai CN pada DAS Keureuto (Area and Changes in Curve Number (CN) Values in the Keureuto Watershed)

No	Kelas (Class)	Luas (area) (ha)				Perubahan (Change) (%)
		1990	%	2024	%	
1.	Rendah (Low)	28.452,3	27,6	25.653,6	24,8	21,5 (-)
2.	Menengah (Medium)	2.245,9	2,2	2.896,4	2,8	28,0 (+)
3.	Tinggi (High)	72.556,6	70,3	74.704,8	72,3	6,5 (+)

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



Gambar (Figure) 6. Distribusi Spasial Curve Number (CN) di DAS Keureuto pada Penggunaan Lahan Tahun 1990 Dibandingkan dengan Tahun 2024 (Spatial Distribution of Curve Number (CN) in the Keureuto Watershed for Land Use in 1990 compared to 2024)

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

Peningkatan nilai koefisien limpasan (C) juga konsisten dengan penurunan luasan wilayah yang memiliki nilai CN rendah. Hasil distribusi spasial CN pada Gambar 6 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa selama periode 1990–2024, DAS Keureuto mengalami perubahan

signifikan dalam kelas CN. Rentang nilai CN bergeser dari <70 (kategori rendah) menuju >75 (kategori tinggi), dengan proporsi wilayah CN menengah meningkat sebesar 28%, CN tinggi naik 6,5%, dan CN rendah menurun drastis sebesar 21,5%. Pergeseran ini

mencerminkan transisi hidrologi dari kondisi yang mendukung infiltrasi menuju kondisi yang lebih dominan menghasilkan limpasan. Kecenderungan tersebut diperkuat oleh kenaikan nilai C yang mendekati 1, yang menunjukkan bahwa hampir seluruh curah hujan telah berubah menjadi aliran permukaan. Dengan demikian, kombinasi antara distribusi spasial CN dan peningkatan nilai C memberikan bukti kuat bahwa alih fungsi lahan telah secara signifikan menurunkan kemampuan resapan alami DAS Keureuto.

Temuan ini konsisten dengan studi Pan *et al.* (2017) dan Wang (2018), yang menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai CN tinggi cenderung mengalami peningkatan frekuensi banjir akibat menurunnya kapasitas infiltrasi tanah. Peningkatan CN juga umum dijumpai di kawasan permukiman atau lahan terbangun yang memiliki permukaan kedap air sehingga tidak mampu menyerap curah hujan secara efektif (Azizah *et al.*, 2019). Penelitian oleh Ilhamni *et al.* (2023) di wilayah tropis menegaskan bahwa konversi hutan menjadi lahan terbuka meningkatkan risiko erosi dan mempercepat terbentuknya limpasan permukaan. Kondisi serupa terjadi di DAS Keureuto, di mana konversi hutan, sawah, dan lahan pertanian menjadi permukiman serta belukar tidak hanya mendorong kenaikan nilai CN, tetapi juga secara simultan meningkatkan koefisien limpasan (C). Hal ini menegaskan bahwa kedua indikator tersebut saling melengkapi dalam menggambarkan

degradasi fungsi hidrologi DAS, dengan C memberikan representasi paling langsung terhadap besarnya proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan.

Selain itu, Moglen *et al.* (2022) menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai CN tinggi memiliki potensi limpasan yang jauh lebih besar ketika curah hujan ekstrem terjadi, sehingga memperburuk risiko banjir. Studi tersebut menekankan pentingnya pemantauan perubahan penggunaan lahan dan penerapan intervensi mitigatif, seperti konservasi tanah dan pemulihan vegetasi alami. Temuan dalam penelitian ini sejalan dengan literatur tersebut, di mana peningkatan risiko banjir di DAS Keureuto berkorelasi erat dengan alih fungsi lahan dari kawasan berhutan—yang memiliki koefisien limpasan rendah—menjadi lahan pertanian, belukar, dan permukiman dengan koefisien limpasan tinggi. Tren peningkatan risiko ini juga diamati di berbagai wilayah lain dengan dinamika penggunaan lahan serupa (Amri *et al.*, 2023; Azizah *et al.*, 2021; Dadashpoor *et al.*, 2019; Sajikumar & Remya, 2015; Yu Chen, 2022). Dengan demikian, integrasi analisis CN dan C menjadi sangat penting, di mana CN memberikan estimasi potensi limpasan berbasis karakteristik biofisik, sedangkan C merepresentasikan secara langsung besarnya proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan. Kombinasi keduanya menegaskan bahwa alih fungsi lahan telah secara nyata menurunkan kapasitas resapan

DAS Keureuto dan meningkatkan kerentanannya terhadap banjir.

IV. KESIMPULAN

Hasil studi menunjukkan bahwa alih fungsi lahan dari hutan primer dan sekunder menjadi permukiman, belukar, dan lahan terbuka telah menyebabkan penurunan kapasitas infiltrasi tanah secara signifikan. Luas permukiman meningkat sebesar 82,9%, belukar 45,2%, dan lahan terbuka 77,4%, sedangkan hutan primer dan sekunder masing-masing menurun sebesar 21,1% dan 23,1%.

Peningkatan nilai Curve Number (CN) dari 69,5 menjadi 71,9, disertai peningkatan koefisien limpasan dari 0,928 menjadi 0,955, mengindikasikan bahwa proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan semakin besar. Distribusi spasial nilai CN juga menunjukkan pergeseran dari kategori rendah ke kategori menengah dan tinggi, seiring dengan degradasi tutupan vegetasi.

Temuan ini menegaskan bahwa perubahan penggunaan lahan secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan risiko limpasan permukaan dan potensi banjir di DAS Keureuto. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi pengelolaan lahan yang berkelanjutan melalui konservasi hutan, revegetasi, dan intervensi berbasis DAS untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi, menurunkan nilai CN, dan mengurangi tekanan hidrologis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM)

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi (Ditjen Diktiristek) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Tesis Magister (PTM) dengan no kontrak 135/E5/PG.02.00.PM.BARU/2024. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat LPPM Universitas Almuslim dan Pusat Kajian DAS Krueng Peusangan dengan memberikan dukungan dalam proses penelitian.

KONTRIBUSI

Penulis pertama, kedua, ketiga dan keempat berkontribusi dalam mengumpulkan data, menganalisis hasil penelitian dan menulis naskah publikasi. Penulis kelima berkontribusi dalam menganalisis data menggunakan Sistem Informasi Geografis. Penulis keenam berkontribusi dalam menganalisis curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, B., Masimin, M., & Azmeri, A. (2018). Studi Erosi Dan Sedimentasi Pada Sub-DAS Krueng Keureuto Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(1), 142–150.
<https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i1.10363>
- Awaliyah Haryani, W., Putro Tejo Baskoro, D., & Hidayat, Y. (2023). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Di DAS Batang Tabir Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi (Land Use Change Analysis in Batang Tabir Watershed Merangin Regency, Jambi Province). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah*

- Aliran Sungai*, 7(1), 89–104.
<https://doi.org/10.59465/jppdas.2023.7.1.89-104>
- Azizah, C. (2020). *Kajian Hidrologi Banjir Bandang Kawasan Humid Tropics: Kasus Das Tamiang Aceh*. Institut Pertanian Bogor.
- Azizah, C., Lizar, C. A., & Risna, Y. K. (2024). *Metode empiris untuk menganalisis aliran limpasan permukaan dalam perancangan sumberdaya air*. 1.
- Azizah, C., Pawitan, H., Dasanto, B. D., Ridwansyah, I., & Taufik, D. M. (2019). Sifat Fisik Tanah dan Hubungannya dengan Kapasitas Infiltrasi DAS Tamiang Soil Physical Properties and their Relationship with the Infiltration Capacity of Tamiang River Basin. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 43(2), 167–173.
- Azizah, C., Pawitan, H., Dasanto, B. D., Ridwansyah, I., & Taufik, M. (2022). Risk assessment of flash flood potential in the humid tropics Indonesia: a case study in Tamiang River basin. In *Int. J. Hydrology Science and Technology* (Vol. 13, Issue 1).
- BNPB. (2025, July 1). *Data Informasi Bencana Indonesia*. BNPB.
- Boudou, M., ÓhAiseadha, C., Garvey, P., O'Dwyer, J., & Hynds, P. (2021). Flood hydrometeorology and gastroenteric infection: The Winter 2015–2016 flood event in the Republic of Ireland. *Journal of Hydrology*, 599(April). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126376>
- Chin, D. A. (2018). On relationship between curve numbers and phi indices. *Water Science and Engineering*, 11(3), 187–195.
<https://doi.org/10.1016/j.wse.2018.09.006>
- CRED. (2024). 2023 Disasters in Numbers: A Significant Year in Disaster Impact. In *Université Catholique de Louvain. Nature Research*.
<https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>
- Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of The Total Environment*, 655.
- DeFries, R., & Eshleman, K. N. (2004). Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, 18(11), 2183–2186.
<https://doi.org/10.1002/hyp.5584>
- Furl, C., Sharif, H., Zeitler, J. W., Hassan, A. El, & Joseph, J. (2018). Hydrometeorology of the catastrophic Blanco river flood in South Texas, May 2015. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15(October 2017), 90–104.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.12.001>
- Gao, G., Li, J., Feng, P., Liu, J., & Wang, Y. (2024). Impacts of climate and land-use change on flood events with different return periods in a mountainous watershed of North China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 55(July), 101943.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101943>
- Husna, M. N., Setyowati, K., & Haryanti, R. H. (2024). Flood mitigation with the support of demographic bonuses in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1314(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1314/1/012081>
- Jean Louis, M., Crosato, A., Mosselman, E., & Maskey, S. (2024). Effects of urbanization and deforestation on flooding: Case study of Cap-Haïtien City, Haiti. *Journal of Flood Risk Management*, June, 1–19.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.13020>

- Lizar, C. A., Satriawan, H., & Azizah, C. (2024). Analisis Wilayah Kerentanan Bencana Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kota Lhokseumawe. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 53. <https://doi.org/10.29103/tj.v14i1.1004>
- Mishra, S. K., & Singh, V. P. (2003). Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0147-1_2
- Pal, S. C., Chowdhuri, I., Das, B., Chakraborty, R., Roy, P., Saha, A., & Shit, M. (2022). Threats of climate change and land use patterns enhance the susceptibility of future floods in India. *Journal of Environmental Management*, 305.
- Pan, S., Liu, D., Wang, Z., Zhao, Q., Zou, H., Hou, Y., Liu, P., & Xiong, L. (2017). Runoff responses to climate and land use/cover changes under future scenarios. *Water (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/w9070475>
- Pawitan, H. (2014). *TERHADAP HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI Land Use July*. <https://www.researchgate.net/publication/237486643>
- Ponce, V. M., & Hawkins, R. H. (1996). Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), 11–19. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(1996\)1:1\(11\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(1996)1:1(11))
- Puspitojati, T. (2013). Kajian Kebijakan Pengembangan Pangan Di Areal Hutan Tanaman Untuk Mendukung Swasembada Pangan. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 10(2), 134–148. <https://doi.org/10.20886/jakk.2013.10.2.134-148>
- Sajikumar, N., & Remya, R. . (2015). Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, 161, 460–568.
- Siregar, V., & Koropitan, A. F. (2016). Land Use Change and its Impact to Marine Primary Production in Semarang Waters. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 520–531. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.105>
- Taguchi, R., Tanoue, M., Yamazaki, D., & Hirabayashi, Y. (2022). Global-Scale Assessment of Economic Losses Caused by Flood-Related Business Interruption. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/w14060967>
- USDA. (1986). Urban Hydrology for Small. In *Soil Conservation* (Issue Technical Release 55 (TR-55)). <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Urban+Hydrology+for+Small+watersheds#1>
- Wesli. (2011). Kajian Spasial Dan Partisipasi Masyarakat Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Di Kabupaten Aceh Utara. *Teras Jurnal*, 1(1), 1–10.

Lampiran.

Tabel (Table) 5. Matrik Perubahan Penggunaan Lahan DAS Kereuto (*Land Use Change Matrix of the Keureuto Watershed*)

Penggunaan Lahan Tahun 1990	Penggunaan Lahan Tahun 2024											Luas (Ha)
	BA	Port	Blk	HP	HS	Pmk	Pkn	PLK	Swh	Tmbk	LT	
Badan Air (BA)	71,3						2,9		8,5			1,0
Belukar (Blk)			327,7			995,4	219,6	1.274,3	328,9	46,8	101,0	3.293,6
Hutan Primer (HP)			404,0	9.763,4	3.717,0			117,1				14.001,4
Hutan Sekunder (HS)	0,4		3.991,8	1.281,0	26.341,3		1.600,1	6.045,1			93,8	39.353,4
Pemukiman (Pmk)		127,6				917,8		12,3		2,3		1.060,0
Perkebunan (Pkn)	4,2		1.180,1		211,5	145,1	9.738,4	460,0	46,2		713,6	12.499,0
Pertanian Lahan Kering (PLK)						353,0	1.120,0	1.242,2	1.518,3	28,4	52,4	4.314,3
Pertanian Lahan Kering Campur (PLKC)	2,3		108,0			2.128,6	1.656,0	5.327,6	92,0	17,8	147,5	9.479,8
Sawah (Swh)						1.444,0	692,2	436,6	11.437,7	39,7	123,6	14.173,9
Tambak (Tmbk)						57,7		0,0	60,1	4.511,3		4.629,1
Lahan Terbuka (LT)						38,0		36,7	168,3	35,6		278,6
Total	78,2	127,6	6.011,5	11.044,4	30.269,8	6.079,5	15.029,2	14.951,8	13.660,0	4.681,9	1.231,9	103.165,9

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

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.
- **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.*
- **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.
- **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.*
- **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 nomor urut 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.
- **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.
- **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.
- **UCAPAN TERIMA KASIH** : Disarankan menyampaikan ucapan terimakasih kepada organisasi atau person yang telah membantu penulis dalam bentuk apapun.
- **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 6th*. 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.
- **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.*
- **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.*
- **ACKNOWLEDGEMENT**: *It is recommended to convey gratitudes to the organization or person who has assisted the author in any form.*
- **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

