

Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

P-ISSN : 2579-6097

E-ISSN : 2579-5511



Journal of Watershed Management Research

Vol. 7 No. 1, 2023

ESTIMASI TINGKAT BAHAYA EROSI (TBE) PADA EMPAT TIPE PENGELOLAAN LAHAN DI DESA KARANG SIDEMEN, LOMBOK

(Erosion hazard level estimation of four land use management types in Karang Sidemen Village, Lombok)

Sitti Latifah, Eni Hidayati, Diah Permata Sari, dan Kornelia Webliana B

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)

Suhendra, Geri Budianto, Halauddin, dan Liza Lidiawati

EVALUASI FUNGSI LINGKUNGAN EMBUNG BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFI: KASUS EMBUNG KRAPYAK DAN TONOGORO DI KULON PROGO, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

(Environment Role Evaluation of Retention Basins Using Geographic Information Systems: Case of Krapyak and Tonogoro in Kulon Progo, Special Region of Yogyakarta)

Marina Yuliarti, Ngadisih, M. Pramono Hadi, Junun Sartohadi, dan M. Anggri Setiawan

PERENCANAAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN AIR DI NUSA PENIDA

(Rainwater harvesting system planning to meet water needs in Nusa Penida)

Tri Hayatining Pamungkas, Mawiti Infantri Yekti, dan I Gede Adi Alit Putra

PENYISIHAN MERKURI DAN BESI DARI AIR SUNGAI MENGGUNAKAN BUBUK CANGKANG TELUR

(Mercury and iron removal from river water using eggshell powder)

Badariah, M. Syahrani Jailani, dan Sarah Fiebrina Heraningsih

ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI DAS BATANG TABIR KABUPATEN MERANGIN, PROVINSI JAMBI

(Land Use Change Analysis in Batang Tabir Watershed Merangin Regency, Jambi Province)

Wirdatul Awaliyah Haryani, Dwi Putro Tejo Baskoro, dan Yayat Hidayat

Diterbitkan oleh :

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

Jl. Gunung Batu No 5 Bogor

E-mail: sekred.jppdas@forda-mof.org;

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. Semula JPPDAS dikelola oleh BPPTPDAS bekerjasama dengan Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia (MKTi). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 26 Tahun 2021, BPPTPDAS menjadi Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BPSILHK) Solo, dengan demikian pengelola JPPDAS juga berubah yaitu Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BPSILHK Solo) dan MKTi. Pada tahun 2023, pengelolaan JPPDAS dialihkan kepada Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI) sehubungan dengan BPSILHK yang tidak lagi mempunyai kewenangan untuk melakukan kegiatan penelitian serta penerbitan publikasi ilmiah. Tahun ini JPPDAS hanya menerbitkan satu kali, yaitu Volume 7 Nomor 1, 2023.

SASARAN DAN RUANG LINGKUP

Karya Tulis Ilmiah yang diterbitkan dalam JPPDAS merupakan hasil-hasil penelitian yang memberikan kontribusi secara ilmiah pada 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.

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

Konservasi Tanah dan Air;
Sistem Informasi Geografis

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,
Badan Riset dan Inovasi Nasional
(BRIN)

Editor

Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc.
(Scopus ID: 6603222376)

Silvikultur; Reklamasi dan
Rehabilitasi Lahan Pasca
Tambang

Institut Pertanian Bogor (IPB)

Dr. Ir. Suria Darma Tarigan, M.Sc.
(Scopus ID: 57073753500)

Hidrologi; Konservasi Tanah dan
Air

IPB; Masyarakat Konservasi Tanah
dan Air Indonesia (MKTi)

Muhammad Kamal, S.Si., M.GIS., Ph.D.
(Scopus ID: 55266523600)

Penginderaan Jauh; Sistem
Informasi Geografis

Universitas Gadjah Mada (UGM)

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

Geografi

Universitas Gadjah Mada (UGM)

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

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

Hidrologi

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,
BRIN; MKTi

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

Sosial Ekonomi Pertanian

Pusat Riset Kependudukan, BRIN

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

Hidrologi dan Konservasi Tanah

Pusat Riset Limnologi dan Sumber
Daya Air, BRIN

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

Mitigasi Bencana

Institut Teknologi Bandung (ITB)

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

Sosial Ekonomi

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,
BRIN

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

Manajemen Hutan

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,
BRIN

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

Hidrologi dan Konservasi Tanah

Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi,
BRIN

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

Sosiologi Kehutanan;
Pemberdayaan Masyarakat

Pusat Riset Masyarakat dan Budaya,
BRIN

Copy Editor

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

Hidrologi dan Konservasi Tanah

Pusat Riset Ekologi dan
Etnobiologi, BRIN

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

Silvikultur

Pusat Riset Ekologi dan
Etnobiologi, BRIN

Section Editor

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

Konservasi dan Pengaruh Hutan

Pusat Riset Ekologi dan
Etnobiologi, 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)

Perencanaan 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

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

Ekologi Manusia

Pusat Riset Kependudukan,
BRIN

Eko Priyanto, S.P., M.GIS.
(Scopus ID: 57422212500)

Badan Standardisasi Instrumen
Lingkungan Hidup dan
Kehutanan (BPSILHK) Solo

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

Badan Standardisasi Instrumen
Lingkungan Hidup dan
Kehutanan (BPSILHK) Solo



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

©2023 Asosiasi Peneliti dan Teknisi Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia (APTKLHI)

REVIEWER

Prof. Dr. Hidayat Pawitan, M.Sc. (Scopus ID: 55177185300)	Hidrologi Sumberdaya Air	Institut Pertanian Bogor (IPB)
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)
Prof. Dr. rer.nat Muh Aris Marfa'i, M.Sc. (Scopus ID: 22951320200)	Penginderaan Jauh dan Kebencanaan	Badan Informasi Geospasial (BIG); UGM
Dr. Ir. Ai Dariah, M.S. (Scopus ID: 55366276400)	Konservasi Tanah dan Air	Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, BRIN; MKTI
Dr. Ir. Maswar, M.Agric.Sc. (Scopus ID: 56527177600)	Konservasi Tanah dan Air	Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, BRIN
Dr. Prabang Setyono, S.Si., M.Si. (Scopus ID: 56179823100)	Ekologi Pemodelan dan Rekayasa Lingkungan	Universitas Sebelas Maret (UNS)
Dr. Sapja Anantanyu, S.P., M.Si. (Scopus ID: 57188728132)	Sosial dan Kelembagaan	Universitas Sebelas Maret (UNS)
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)



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

©2023 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 7 Nomor 1, 2023.

1. Dr. Ir. Hunggul Yudono S.H. Nugroho, M.Si.
2. Prof. Ris. Dr. Ir. Tyas Mutiara Basuki, M.Sc.
3. Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si., M.Sc.Tech
4. Prof. Dr. rer. nat. Junun Sartohadi, M.Sc.
5. Andry Rustanto, S.Si, M.Sc.
6. Prof. Ris. Dr. Irfan Budi Pramono, M.Sc.
7. Dr. Agung Budi Supangat, S.Hut., M.T.
8. Dr. Ir. Nining Wahyuningrum, M.Sc.

DAFTAR ISI (CONTENTS)

Judul	Halaman
ESTIMASI TINGKAT BAHAYA EROSI (TBE) PADA EMPAT TIPE PENGELOLAAN LAHAN DI DESA KARANG SIDEMEN, LOMBOK <i>(Erosion hazard level estimation of four land use management types in Karang Sidemen Village, Lombok)</i> Sitti Latifah, Eni Hidayati, Diah Permata Sari, dan Kornelia Webliana B _____	1-22
IDENTIFIKASI AKUIFER DI DAERAH RAWAN BANJIR DENGAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING DI KECAMATAN MUARA BANGKAHULU <i>(Identification of aquifers in flood-prone areas using the Vertical Electrical Sounding method in Muara Bangkahulu sub-district)</i> Suhendra, Geri Budianto, Halauddin, dan Liza Lidiawati _____	23-40
EVALUASI FUNGSI LINGKUNGAN EMBUNG BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFI: KASUS EMBUNG KRAPYAK DAN TONOGORO DI KULON PROGO, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA <i>(Environment Role Evaluation of Retention Basins Using Geographic Information Systems: Case of Krapyak and Tonogoro in Kulon Progo, Special Region of Yogyakarta)</i> Marina Yuliarti, Ngadisih, M. Pramono Hadi, Junun Sartohadi, dan M. Anggri Setiawan _____	41-58
PERENCANAAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN AIR DI NUSA PENIDA <i>(Rainwater harvesting system planning to meet water needs in Nusa Penida)</i> Tri Hayatining Pamungkas, Mawiti Infantri Yekti, dan I Gede Adi Alit Putra _____	59-76
PENYISIHAN MERKURI DAN BESI DARI AIR SUNGAI MENGGUNAKAN BUBUK CANGKANG TELUR <i>(Mercury and iron removal from river water using eggshell powder)</i> Badariah, M. Syahrani Jailani, dan Sarah Fiebrina Heraningsih _____	77-88
ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI DAS BATANG TABIR KABUPATEN MERANGIN, PROVINSI JAMBI <i>(Land Use Change Analysis in Batang Tabir Watershed Merangin Regency, Jambi Province)</i> Wirdatul Awaliyah Haryani, Dwi Putro Tejo Baskoro, dan Yayat Hidayat _____	89-104

JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)	
ABSTRAK	
P-ISSN : 2579-6097	Vol. 7 No. 1, 2023
E-ISSN : 2579-5511	
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
UDC/ ODC: 631.459(594.71) Sitti Latifah¹, Eni Hidayati^{1*}, Diah Permata Sari¹, dan Kornelia Webliana B¹ ¹<i>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Jalan Majapahit No. 62 Mataram</i> ESTIMASI TINGKAT BAHAYA EROSI (TBE) PADA EMPAT TIPE PENGELOLAAN LAHAN DI DESA KARANG SIDEMEN, LOMBOK Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 7 No. 1, 2023, p. 1 - 22 Erosi tanah dapat menjadi ancaman yang signifikan bagi keseimbangan dan produktivitas lahan pada area pegunungan. Erosi dapat mempengaruhi ketahanan pangan dan kerentanan lahan terhadap perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji erosi potensial dan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di empat unit pengelolaan lahan yang melibatkan masyarakat di Desa Karang Sidemen. Metode yang digunakan yaitu metode <i>Revised Universal Soil Loss Equation</i> (RUSLE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk tiap kelas kemiringan lereng, Zona Pemanfaatan Taman Hutan Raya (Tahura) Nuraksa memiliki nilai erosi potensial yang paling rendah, kemudian diikuti oleh Hutan Kemasyarakatan (HKm), dan <i>Hortipark</i> Tastura. Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Rarung memiliki nilai erosi potensial paling besar di tiap kelas lereng. Untuk semua kelas lereng, TBE di Tahura Nuraksa termasuk tingkat rendah. TBE di <i>Hortipark</i> Tastura, KHDTK Rarung dan HKm mayoritas termasuk tingkat sedang. Pada KHDTK Rarung ditemukan TBE kategori tinggi dan sangat tinggi yang cukup signifikan. Nilai erodibilitas tanah di semua tipe termasuk rendah. Erosi potensial dan TBE di empat tipe pengelolaan sangat dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng dan vegetasi. Kata kunci: erosi potensial; erosi yang ditoleransi; tingkat bahaya erosi	
UDC/ ODC: 556.51(594.48) Suhendra^{1*}, Geri Budianto¹, Halaudhin¹, dan Liza Lidiawati² ¹<i>Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu</i> ²<i>Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu</i> IDENTIFIKASI AKUIFER DI DAERAH RAWAN BANJIR DENGAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING DI KECAMATAN MUARA BANGKAHULU Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 7 No. 1, 2023, p. 23 - 40 Kecamatan Muara Bangkahulu di Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu merupakan daerah yang rawan bencana banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kedalaman akuifer daerah rawan banjir. Daerah rawan bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dianalisis menggunakan metode <i>Vertical Electrical Sounding</i> (VES) dengan konfigurasi Schlumberger sebanyak 40 titik VES di lokasi permukiman. Akuisisi data dilakukan dengan alat Geolistrik IP Meter MAE X612-EM, dan data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan <i>software Progress 3.0</i> menghasilkan penampang <i>Resistivity Log 1D</i>. Data <i>Log</i> yang didapatkan dilakukan pemodelan menggunakan <i>software Voxler 4</i> untuk mendapatkan gambaran persebaran akuifer dan struktur bawah permukaan secara 3D, kemudian di petakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 2, 5, 10, 15, 30, dan 40 meter menggunakan <i>software ArcGIS 10.8</i> untuk melihat daerah rawan banjir. Hasil interpretasi memperlihatkan bahwa akuifer di Kecamatan Muara Bangkahulu berupa pasir dan kerikil yang memiliki nilai tahanan jenis 0–25 Ω.m. Nilai tersebut dipengaruhi oleh adanya intrusi air laut. Daerah rawan banjir berada pada akuifer dangkal, yaitu 2–5 m yang berada pada kelurahan Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, dan Bentiring Permai. Kata kunci: Akuifer; Banjir; VES	

JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)	
ABSTRAK	
P-ISSN : 2579-6097 E-ISSN : 2579-5511	Vol. 7 No. 1, 2023
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
UDC/ ODC: 504.453(594.57) Marina Yulianti¹, Ngadisih^{2*}, M. Pramono Hadi³, Junun Sartohadi⁴, dan M. Anggri Setiawan⁵ ¹<i>Ilmu Lingkungan Minat Geo-Informasi untuk Manajemen Bencana, Sekolah Pascasarjana UGM, DIY.</i> ²<i>Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fak. Teknologi Pertanian, UGM, DIY.</i> ³<i>Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM, Kompleks Gedung PSLH-EFSD UGM, DIY.</i> ⁴<i>Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, UGM, DIY.</i> ⁵<i>Fakultas Geografi, UGM, DIY.</i> EVALUASI FUNGSI LINGKUNGAN EMBUNG BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFI: KASUS EMBUNG KRAPYAK DAN TONOGORO DI KULON PROGO, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 7 No. 1, 2023, p. 41 - 58 Secara lingkungan, embung berfungsi untuk konservasi tanah dan air, namun ada pula yang mengalami kekeringan. Lokasi penempatan embung merupakan hal yang mendasar dalam memenuhi fungsi lingkungan. Sistem Informasi Geografi (SIG) terbukti lebih efektif untuk menentukan lokasi embung. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan SIG untuk mengevaluasi fungsi lingkungan embung pada suatu wilayah. Embung Tonogoro dan Krapyak yang ada di Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta dan beroperasi sejak tahun 2011 menjadi lokasi kasus penelitian. Embung Krapyak terletak pada outlet daerah tangkapan air, sedangkan Tonogoro dibangun di puncak bukit. Penilaian fungsi lingkungan dilihat dari potensi kekeringan dan perubahan kapasitas tampung akibat adanya sedimentasi. Bahan yang digunakan berupa dokumen detail desain embung, <i>citra Google Earth</i>, citra DEMNAS, peta rupa bumi Indonesia skala 1:25.000, data curah hujan, dan peta jenis tanah. Kapasitas tampung awal embung dihitung berdasarkan kedalaman menggunakan data DEMNAS. Kapasitas embung akhir diukur dengan metode pemeruman menggunakan <i>Echo sounder Garmin 520s</i>, <i>Depth sounder</i>, dan <i>Roll meter</i>. Seluruh data diintegrasikan dalam SIG untuk disajikan secara visual dalam bentuk profil kedalaman embung yang mencerminkan dinamika daya tampung. Potensi air yang masuk ke dalam embung dihitung dengan menggunakan metode <i>Soil Conservation Service Curve Number</i> (SCS-CN). Penelitian ini menemukan bahwa embung Tonogoro mengalami kekurangan air karena potensi volume air larian hanya mampu memenuhi 5% kapasitas tampung. Akumulasi hasil sedimen embung Krapyak adalah 3.498 m³ atau 12,2% dari total kapasitas dengan laju sedimentasi 699,6 m³ per tahun. Penelitian ini membuktikan bahwa SIG dapat digunakan untuk evaluasi fungsi lingkungan melalui koreksi ukuran dan volume embung akibat sedimentasi serta potensi kekeringan. Kata kunci: embung, erosi, sedimentasi, daerah tangkapan air, sistem informasi geografi	
UDC/ ODC: 556.12 (594.61) Tri Hayatining Pamungkas^{1*}, Mawiti Infantri Yekti², dan I Gede Adi Alit Putra¹ ¹<i>Universitas Ngurah Rai, Denpasar - Bali</i> ²<i>Universitas Udayana, Badung - Bali</i> PERENCANAAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN AIR DI NUSA PENIDA Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 7 No. 1, 2023, p. 59 - 76 Nusa Penida adalah salah satu dari beberapa daerah pariwisata yang dijadikan andalan oleh Provinsi Bali dalam menampung wisatawan yang ingin berlibur di Bali. Salah satu komponen untuk mendukung pariwisata adalah daya dukung air atau ketersediaan air. Minimnya sumber daya air yang dapat dimanfaatkan khususnya di dua Pulau di Nusa Penida yaitu Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan mengharuskan untuk mencari sumber air alternatif yang salah satunya adalah sumber air hujan. Metode pemanfaatan air hujan salah satunya adalah teknik pemanenan air hujan (PAH) menggunakan atap bangunan. Komponen yang paling menentukan dalam teknik ini adalah atap bangunan dan volume bak penampung. Hasil analisis menunjukkan dari data yang ada didapatkan jumlah kebutuhan air di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan selama 6 bulan kering sebanyak 48.405,5 liter/tahun. Kebutuhan air ini dapat dipenuhi dengan menggunakan pemanenan air hujan yang menggunakan luas atap sebesar sebesar 68,54 m² dan air hasil panen ditampung dengan bak penampung yang memiliki kapasitas 48,41m³. Kata kunci: sistem pemanenan air hujan; Nusa Penida; kebutuhan air	

JURNAL PENELITIAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (JPPDAS)	
ABSTRAK	
P-ISSN : 2579-6097	Vol. 7 No. 1, 2023
E-ISSN : 2579-5511	
Kata kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya	
UDC/ ODC: 628.316 Badariah^{1*}, M. Syahrani Jailani², dan Sarah Fiebrina Heraningsih³ ¹ Prodi Tadris Biologi, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi ² Prodi Pendidikan Agama Islam, UIN Sulthan Thaha Saifuddin ³ Prodi Teknik Kimia, Universitas Jambi PENYISIHAN MERKURI DAN BESI DARI AIR SUNGAI MENGGUNAKAN BUBUK CANGKANG TELUR Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 7 No. 1, 2023, p. 77 – 88 Merkuri dan besi adalah logam berat berbahaya yang seringkali masuk ke perairan melalui kegiatan antropogenik. Sungai Batanghari merupakan salah satu sungai yang terdampak akan logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk menyisihkan merkuri dan besi dari air sungai dengan menggunakan adsorben dari cangkang telur. Perlakuan yang digunakan ialah kontak secara langsung melalui pengadukan menggunakan variasi waktu 45 menit, 90 menit dan 135 menit. Jumlah dosis bubuk cangkang telur yang digunakan ialah 1 gram, 5 gram, 10 gram dan 15 gram. Efisiensi penyisihan optimal ialah 100% pada merkuri dan 89,54% pada besi. Dosis adsorben terbaik ialah 5 gram untuk merkuri dan 10 gram untuk besi dan kecepatan pengadukan terbaik ialah 135 menit pada kedua jenis logam. Hasil penelitian ini menemukan bahwa penyisihan merkuri dan besi menggunakan bubuk cangkang telur ialah proses yang mudah, murah dan efektif untuk dilaksanakan. Kata kunci: <i>bubuk cangkang telur; pengolahan air sungai; penyisihan besi; penyisihan merkuri.</i>	
UDC/ ODC : 631.4 : 556.51 (594.46) Wirdatul Awaliyah Haryani^{1,2*}, Dwi Putro Tejo Baskoro², dan Yayat Hidayat² ¹Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, Sekolah Pascasarjana, IPB University ²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI DAS BATANG TABIR KABUPATEN MERANGIN, PROVINSI JAMBI Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Vol. 7 No. 1, 2023, p. 89 – 104 Perubahan penggunaan lahan yang terus menerus pada suatu DAS akan mempengaruhi karakteristik hidrologi DAS tersebut. DAS Batang Tabir mengalami penurunan daya dukung DAS yang ditandai dengan meningkatnya frekuensi banjir serta bertambahnya luas genangan banjir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan di DAS Batang Tabir Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi. Data yang digunakan yaitu DEM, peta topografi, peta jaringan sungai, dan citra landsat. Analisis perubahan penggunaan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing (<i>Maximum Likelihood Classification/MLC</i>) dan ketepatan hasil interpretasi citra dilakukan melalui uji akurasi Kappa. Prediksi penggunaan lahan menggunakan model ANN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perubahan penggunaan lahan meningkat pada hutan sekunder, kawasan terbangun, pertanian, dan lahan terbuka, hutan primer, sawah dan semak belukar terus mengalami penurunan. Diperkirakan pada tahun 2030 trennya akan sama, luas lahan terbangun, pertanian dan hutan sekunder akan mengalami peningkatan sedangkan hutan primer, sawah, semak belukar, dan lahan terbuka akan berkurang. Kata kunci: <i>DAS Batang Tabir; MLC; ANN; perubahan penggunaan lahan</i>	

ESTIMASI TINGKAT BAHAYA EROSI (TBE) PADA EMPAT TIPE PENGELOLAAN LAHAN DI DESA KARANG SIDEMEN, LOMBOK

*(Erosion Hazard Level Estimation of Four Land Use Management Types in Karang Sidemen
Village, Lombok)*

Sitti Latifah¹, Eni Hidayati^{1*}, Diah Permata Sari¹, dan Kornelia Webliana B¹

¹*Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram,
Jalan Majapahit No. 62 Mataram*

**Email: eni.hidayati@unram.ac.id*

Diterima: 30 Mei 2023, Direvisi : 9 Agustus 2023, Disetujui : 29 Agustus 2023

ABSTRACT

Soil erosion is a significant threat to land sustainability and productivity in mountainous areas. Erosion can affect food security and land vulnerability to climate change. This study was conducted to assess the potential erosion and Erosion Hazard Level (TBE) in four types of land management involving the community in Karang Sidemen Village using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) method. The results showed that for each slope class, the Botanical Forest Park (Tahura) Nuraksa Utilization Zone had the lowest potential erosion value, followed by Community Forest (HKm) and Hortipark Tastura. Forest Areas with Special Purpose (KHDTK) Rarung has the highest potential erosion value in all slope classes. For all slope classes, TBE in the Tahura Nuraksa is considered low-level. Erosion Hazard Levels in Hortipark Tastura, KHDTK Rarung, and HKm are dominated by the moderate category. There were significant high and very high TBE in KHDTK Rarung. Soil erodibility values for all types are low. Potential erosion and TBE in the four management types are strongly influenced by slope and vegetation factors.

Keywords: *potential erosion; tolerable erosion; erosion hazard level*

ABSTRAK

Erosi tanah dapat menjadi ancaman yang signifikan bagi keseimbangan dan produktivitas lahan pada area pegunungan. Erosi dapat mempengaruhi ketahanan pangan dan kerentanan lahan terhadap perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji erosi potensial dan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di empat unit pengelolaan lahan yang melibatkan masyarakat di Desa Karang Sidemen. Metode yang digunakan yaitu metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk tiap kelas kemiringan lereng, Zona Pemanfaatan Taman Hutan Raya (Tahura) Nuraksa memiliki nilai erosi potensial yang paling rendah, kemudian diikuti oleh Hutan Kemasyarakatan (HKm), dan *Hortipark* Tastura. Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Rarung memiliki nilai erosi potensial paling

besar di tiap kelas lereng. Untuk semua kelas lereng, TBE di Tahura Nuraksa termasuk tingkat rendah. TBE di *Hortipark* Tastura, KHDTK Rarung dan HKm mayoritas termasuk tingkat sedang. Pada KHDTK Rarung ditemukan TBE kategori tinggi dan sangat tinggi yang cukup signifikan. Nilai erodibilitas tanah di semua tipe termasuk rendah. Erosi potensial dan TBE di empat tipe pengelolaan sangat dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng dan vegetasi.

Kata kunci: erosi potensial; erosi yang ditoleransi; tingkat bahaya erosi

I. PENDAHULUAN

The State of Indonesia's Forest (SOIFO) 2022 menunjukkan bahwa sejak tahun 2016 hingga 2021, pemerintah terus melakukan langkah korektif untuk mengatasi tantangan-tantangan yang dihadapi di sektor kehutanan dan dampak perubahan iklim. Salah satu perubahan yang signifikan yaitu reorientasi pengelolaan hutan dari berbasis-kayu (*wood-based*) menjadi pendekatan ekosistem hutan lestari dan berbasis masyarakat (*sustainable forest ecosystem and community-based approaches*) (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Hal ini juga sesuai dengan pendekatan *rights-based approach* yang telah dilakukan oleh *International Union for Conservation of Nature (IUCN)* yang bertujuan untuk menyelaraskan upaya pelestarian alam dengan hak-hak masyarakat (hak asasi manusia) (Greiber, Janki, Orellana, Saravesi, & Shelton, 2009). Pendekatan ini dilakukan sebagai upaya untuk mendorong keikutsertaan masyarakat dalam mengelola lahan secara lestari dan membangun ketangguhan terhadap perubahan iklim. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Perhutanan Sosial menjelaskan bahwa pelibatan masyarakat sebagai pelaku utama dalam pemanfaatan

hutan bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat terutama masyarakat sekitar hutan dengan tetap memperhatikan nilai ekologi dan dinamika sosial budaya.

Desa Karang Sidemen yang berada di Pulau Lombok, merupakan salah satu desa di sekitar kaki Gunung Rinjani yang memiliki lanskap dikelilingi oleh kawasan hutan di bawah empat unit pengelolaan berbeda yaitu Tahura Nuraksa, KHDTK Rarung, dan HKm Wana Lestari Karang Sidemen serta *Hortipark* Tastura yang dalam pengelolaannya melibatkan masyarakat melalui skema Perhutanan Sosial yaitu HKm dan Kemitraan Kehutanan (Setiawan *et al.*, 2021).

Tutupan lahan dominan pada keempat tipe pengelolaan yaitu berupa hutan sekunder di Tahura Nuraksa, agroforestri kompleks di HKm Wana Lestari Karang Sidemen, agroforestri yang didominasi oleh tanaman pisang dan sawah di *Hortipark* Tastura, dan agroforestri sederhana dan tanaman tahunan monokultur di KHDTK Rarung. HKm Wana Lestari dimulai pada tahun 1999 dan berada di kawasan zona penyangga Taman Nasional Gunung Rinjani (Siregar, Harianjah, Dalilah, Cahyono, & Ulfah, 2019). HKm pada umumnya dikembangkan dengan pola agroforestri untuk

mengakomodir kepentingan ekologi (Hadi, 2018; Reed, Vianen, Barlow, & Sunderland, 2017), ekonomi (Rahman, Sunderland, Roshetko, Basuki, & Helaey, 2016; Susanto & Triyono, 2016) dan sosial budaya (Martapani, Fauzi, & Naparin, 2021; Syahadat & Suryandari, 2016). Izin pengelolaan lahan untuk HKm Wana Lestari Karang Sidemen berupa pertanaman campur tanaman kehutanan multi guna (*multi purposes tree species*) dan tanaman semusim (Anwar, Latifah, & Setiawan, 2023; Dewi, Awang, Andayani, & Suryanto, 2018; Siregar, Harianjah, Dalilah, Cahyono, & Ulfah, 2019). Kemitraan Kehutanan dengan pola agroforestri di teritori KHDTK Rarung telah dimulai sejak tahun 2018 dengan tujuan untuk memudahkan pengelolaan lahan oleh masyarakat yang berdampak secara ekonomi bagi masyarakat (Nandini, Krisnawati, & Rahayu, 2022). Nilai beberapa sifat tanah yang penting (berat volume, biomassa serasah, karbon organik tanah, kadar air tanah) di areal HKm dan *Hortipark* separuh dari hutan sekunder tetapi lebih baik daripada hutan monokultur (Latifah, Hidayati, & Valentino, 2022).

Cara mengelola lahan akan berpengaruh pada faktor biofisik suatu bentang lahan, salah satunya adalah tanah. Tanah memberikan kontribusi penting bagi sendi-sendi kehidupan seperti makanan, air bersih, biodiversitas dan sangat penting bagi terwujudnya Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Keesstra *et al.*, 2016). Menurut *International Panel on Climate Change* (2019), erosi tanah dari lahan pertanian diperkirakan 10 sampai 20 kali (tanpa olah tanah) hingga lebih dari 100

kali (dengan pengolahan tanah secara konvensional) lebih besar dibandingkan dengan kecepatan pembentukan tanah. Erosi tanah merupakan ancaman serius bagi kelestarian global, ketahanan pangan global, produktivitas lahan dan jasa lingkungan vital lainnya (Evans, Quinton, Davies, Zhao, & Govers, 2020) terutama pada area pegunungan dan wilayah daerah aliran sungai yang peka terhadap terjadinya erosi seperti di Filipina, India, Indonesia (Sulaeman & Westhoff, 2020).

Penanaman pohon secara sistem konvensional maupun sistem agroforestri berpotensi untuk mengendalikan erosi (Jinger *et al.*, 2022). Evans *et al.* (2020) mengungkapkan bahwa cara terbaik untuk memperpanjang *soil lifespans* (didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh *topsoil* sedalam 30 cm untuk tererosi) yaitu dengan mengubah lahan pertanian menjadi hutan atau menerapkan tindakan konservasi tanah seperti tanaman penutup (*cover cropping*) dan membuat terasering. Agroforestri, tanpa olah tanah (*zero tillage*), dan penggunaan tanaman penutup dapat mengurangi erosi tanah dan pelindian nutrisi tanah serta pada saat yang sama menambah karbon tanah (IPCC, 2019). Studi oleh Nandini, Kusumandari, Gunawan, & Sadono (2019) tentang dampak HKm di Lombok menunjukkan bahwa terjadi perubahan signifikan pada penurunan limpasan permukaan dan erosi dari tahun 2007 ke 2015 seiring dengan bertambahnya tutupan lahan dari sistem agroforestri. Studi oleh Fitri, Hartoyo, Simangunsong, & Setiawan (2020) pada lokasi agroforestri yang menerapkan tindakan konservasi tanah berupa

konstruksi teras bangku menunjukkan kemampuan pengendalian erosi sebesar 97%. Penerapan teras bangku, mulsa dan tanaman penguat teras pada agroforestri mampu menurunkan tingkat bahaya erosi hingga 85% dan meningkatkan pendapatan petani hutan hingga memenuhi standar kebutuhan hidup layak (Fitri & Nuraida, 2022).

Berbagai macam tipe pengelolaan lahan diduga tidak hanya akan berpengaruh terhadap keberagaman kondisi ekologi dalam suatu lanskap tetapi juga pada kondisi fisik kawasan tersebut termasuk erosi. Penelitian ini didasarkan pada hipotesa bahwa perbedaan sifat tanah dan vegetasi akan berpengaruh terhadap perkiraan tingkat bahaya erosi pada empat macam pengelolaan lahan di Desa Karang Sidemen yakni *Hortipark*, KHDTK, Tahura, dan HKm. Penelitian ini penting untuk dilakukan sebagai informasi dalam pembuatan kebijakan, rencana dan program untuk mengurangi kerentanan lahan terhadap bahaya erosi pada beberapa tipe pengelolaan lahan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan bulan Juli hingga Oktober 2022 di Desa Karang Sidemen, Kecamatan Batukliang Utara, Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara geografis, desa ini berada di -8.472552 LS, 116.341309 BT. Lokus penelitian pada empat tipe pengelolaan kawasan hutan yakni KHDTK Rarung, HKm Wana Lestari Karang

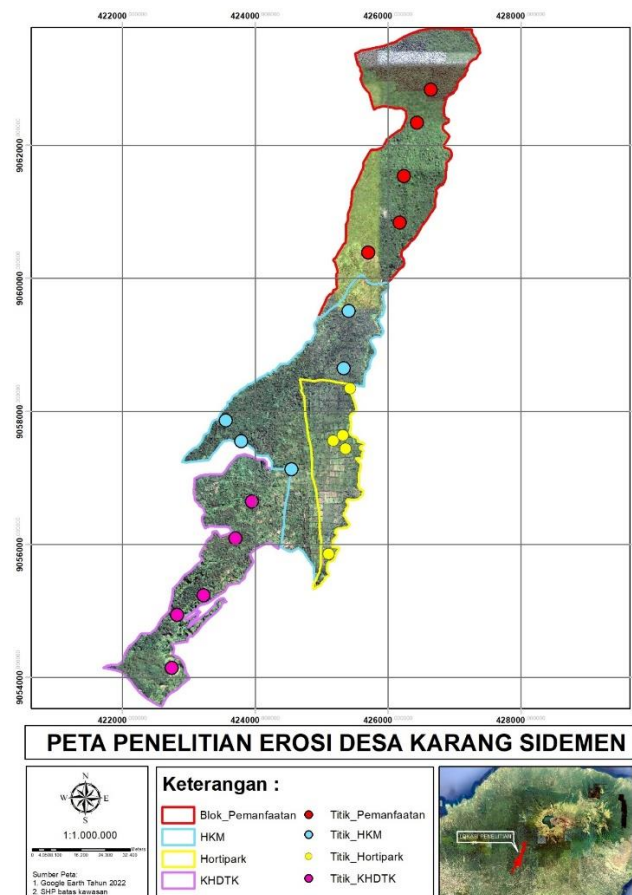
Sidemen, *Hortipark* Tastura, dan Tahura Nuraksa (Blok Pemanfaatan) (Gambar 1).

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sampel tanah, data curah hujan, peta topografi, dan peta administrasi. Alat yang digunakan adalah *clinometer* untuk mengukur kemiringan lereng di lapangan, bor tanah untuk menggali kedalaman efektif tanah, *ring sampel* tanah untuk mengambil sampel tanah utuh untuk uji erodibilitas dan *bulk density*, dan perangkat lunak *Geographic Information System* (GIS) untuk analisis tingkat bahaya erosi. Sebanyak dua puluh sampel tanah (lima sampel tiap tipe pengelolaan) diambil untuk diuji di laboratorium.

C. Metode Penelitian

Perhitungan nilai erosi menggunakan persamaan RUSLE sebagai salah satu metode pendugaan laju erosi paling populer (Erol, Koşkan, & Başaran, 2015) yang didasarkan hasil observasi lapangan dengan memanfaatkan teknologi *remote sensing* dan *Geographic Information System* (GIS) (Ganashri & Ramesh, 2016). Penelitian ini mengintegrasikan data *remote sensing* dan *software* GIS dengan nilai perhitungan laju erosi dari hasil persamaan RUSLE (Behera, Jamal, Ahmad, Taqi, Kumar, 2023; Depountis, Michalopoulou, Kavoura, Nikolakopoulos, & Sabatakakis, 2020; Samanta, Koloa, Pal, Palsamanta, 2016). Citra satelit Landsat 8 resolusi 30 m digunakan sebagai sumber data spasial. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar (Figure) 1. Peta Lokasi Penelitian (Map of Research Location)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)

Formula persamaan RUSLE adalah (Koloa & Samanta, 2013):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan (Remarks):

- A = Jumlah tanah yang tererosi (ton/ha/tahun)
- R = Nilai erosivitas curah hujan tahunan rata-rata
- K = Faktor erodibilitas tanah
- LS = Faktor panjang dan kecuraman lereng
- C = Faktor vegetasi penutupan tanaman
- P = Faktor tindakan konservasi tanah

Erosivitas hujan (R) adalah potensi tenaga pendorong (curah hujan) untuk mengikis dan mengangkut tanah ke tempat lebih rendah (Thomas, Joseph & Thrivikramji, 2018).

Nilai R diperoleh menggunakan rumus (Samanta *et al.*, 2016)

$$R = 79 + 0,363R_N \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan (Remarks):

R_N merupakan rata-rata curah hujan tahunan (milimeter)

Erodibilitas (K) adalah tingkat kepekaan partikel tanah terhadap pengikisan dan pengangkutan oleh limpasan permukaan dan hujan (Huda, Nugraha & Bashit, 2020). Erodibilitas tanah dipengaruhi oleh bahan organik, tekstur tanah, struktur tanah, dan permeabilitas tanah (Arsyad, 2010). Nilai K diperoleh menggunakan rumus (Wischmeier & Smith, 1978)

$$100K = [2,1M^{1,14}(10^{-4})(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)] \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan (*Remarks*):

K = Nilai erodibilitas tanah;

M = (Persentase pasir sangat halus dan debu)(100-persentase liat); metode yang digunakan untuk analisis tekstur 3 fraksi (debu, liat dan pasir) yaitu hidrometri. Persentase pasir sangat halus diduga dengan rumus $1/3 \times$ persentase fraksi pasir (Eraku, 2019).

a = Kandungan bahan organik tanah (%C x 1,724); metode untuk analisis %C organik yaitu *Walkey and Black*.

b = Nilai harkat struktur tanah (Arsyad, 1989);

c = Nilai harkat permeabilitas tanah (Arsyad, 1989).

Kelas kemiringan lereng ditentukan dengan menggunakan analisis data DEM (Ahmad, 2018) yang diperoleh dari laman web DEMNAS selanjutnya diolah dengan

software Sistem Informasi Geografis (Lesmana, Fauji, & Sujatmoko, 2021). Setelah kelas lereng diperoleh, selanjutnya Nilai LS ditentukan dengan pendekatan input nilai tabel (INT) mengacu Tabel 1.

Nilai C adalah rasio antara besarnnta erosi dari suatu areal dengan vegetasi penutup dan pengelolaan tanaman tertentu, terhadap besarnya erosi dari tanah yang identic tanpa tanaman (Asdak, 2002).

Nilai C ditetapkan dengan melakukan observasi di lapangan untuk melihat pengelolaan tanaman yang dilakukan, kemudian dicocokkan dengan Tabel Nilai Faktor C (Arsyad, 1989) yang bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel (Table) 1. Nilai LS (*LS Value*)

Kelas Lereng (%) (<i>Slope Class</i>)	Keterangan (<i>Remarks</i>)	Nilai LS (<i>LS Values</i>)
(0-8)	Kategori Datar	0,4
(>8-15)	Kategori Landai	1,4
(>15-25)	Kategori Agak curam	3,1
(>25-40)	Kategori Curam	6,8
(>40)	Kategori Sangat curam	9,5

Sumber (*Source*): Kumendong, Walangitan, Tasirin, & Thomas (2015); Utomo & Aprilia (2014)

Tabel (Table) 2. Nilai Faktor C (*C factor value*)

Tipe Penggunaan (<i>Crop Management</i>)	Nilai Faktor (<i>Factor Value</i>)
Tanpa tanaman/tanah terbuka	1,0
Sawah	0,01
Tegalan secara umum	0,7
Kebun campuran dengan kerapatan tinggi	0,1
Kebun campuran dengan kerapatan sedang	0,2
Kebun campuran dengan kerapatan rendah	0,5
Hutan alam dengan serasah banyak	0,001
Hutan alam dengan serasah kurang	0,005
Padang rumput/semak belukar	0,3

Sumber (*Source*): Arsyad, 1989

Nilai P adalah rasio kehilangan tanah yang terjadi dari tanah pada suatu areal yang diberi perlakuan pendukung (konservasi) terhadap besarnya erosi dari tanah yang serupa (identik) tanpa tanaman penutup tanah dan diolah searah lereng (Asdak, 2002). Nilai P dipengaruhi oleh jenis tindakan konservasi tanah yang diterapkan. Nilai faktor P untuk tindakan konservasi tanah ditentukan sesuai dengan jenis tindakannya berdasarkan Tabel 3 (Arsyad, 1989).

Tingkat bahaya erosi (TBE) merupakan perbandingan nilai erosi potensial (A) dengan nilai erosi yang dapat ditoleransi (T). TBE ditetapkan menurut kriteria tingkat bahaya erosi (Tabel 4). Nilai T ditentukan menggunakan formula (Hammer, 1981):

$$T = \frac{EqD}{RL} \times Bd \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan (Remarks):

- T = Laju erosi yang dapat ditoleransi (ton/ha/tahun)
RL = *Resource life* (400 tahun) (tahun)
Bd = *Bulk Density* (kerapatan massa) (g/cm³)
EqD = Faktor kedalaman tanah x kedalaman efektif tanah (cm)

Kedalaman efektif tanah merupakan kedalaman hingga perakaran tanaman masih dapat menembus ke dalam tanah yang diukur dengan pengeboran secara manual hingga batas maksimal yang dapat ditembus perakaran, atau hingga mencapai kedalaman dimana tanah mulai keras dan sulit untuk dibor (Sulistiyono, 2010). Selanjutnya kedalaman efektif tanah dan jenis tanah digunakan untuk menentukan nilai faktor kedalaman tanah (Hammer, 1981).

Tabel (Table) 3. Kriteria Penentuan Nilai P (Criteria for Determining P Value)

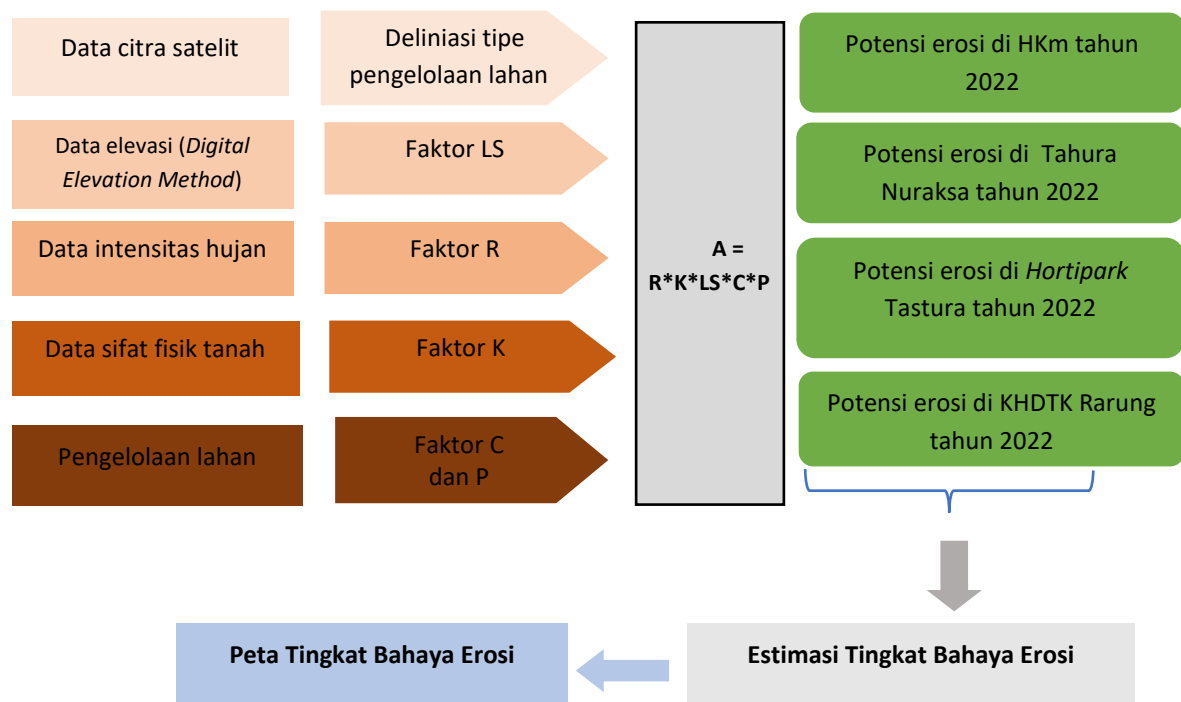
No.	Tindakan Khusus Konservasi Tanah (Soil Conservation Practices)	Nilai P (P Value)
1.	Tidak ada tindakan untuk pengendalian erosi	1,00
2.	Penerapan Teras bangku	
	Konstruksi teras bangku baik	0,04
	Konstruksi teras bangku sedang	0,15
	Konstruksi teras bangku kurang baik	0,35
	Penerapan teras tradisional	0,40
3.	Penerapan strip tanaman	
	Penerapan rumput bahia	0,40
	Penerapan tanaman clotalaria	0,64
	Penerapan tanaman kontur	0,20

Sumber (Source): Arsyad, 1989

Tabel (Table) 4. Kriteria Tingkat Bahaya Erosi (Erosion Hazard Level Criteria)

Nilai (Value)	Kriteria/Rating TBE (TBE Criteria/Rating)
< 1,0	Rendah
1,10 – 4,0	Sedang
4,01 – 10,0	Tinggi
> 10, 01	Sangat Tinggi

Sumber (Source): Hammer, 1981



Gambar (Figure) 2. Bagan Alir Penelitian (Research Flow Chart)

Sumber (Source): Diadaptasi dari (Adapted from) Depountis, Michalopoulou, Kavoura, Nikolakopoulos, & Sabatakakis, 2020.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Erosivitas

Berdasarkan peta erosivitas global, Indonesia termasuk wilayah yang memiliki nilai erosivitas terbesar (Panagos *et al.*, 2017). Data curah hujan dari stasiun pemantau hujan Batukliang Utara selama

lima tahun (2017 hingga 2021), digunakan untuk menghitung nilai erosivitas (Tabel 5). Penghitungan nilai erosivitas hujan (R) menggunakan formula (1) dengan hasil nilai R sebesar 926,46 mm.

Tabel (Table 5). Data Curah Hujan Stasiun Batukliang Utara (Rainfall Data of North Batukliang Station).

Tahun (Year)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jumlah (Amount) (mm)
2017	328	500	267	236	184	136	60	44	111	281	630	432	3209
2018	744	282	289	44	38	16	15	20	41	0	129	252	1870
2019	355	209	426	475	153	0	0	16	21	0	27	442	2124
2020	230	347	347	173	104	10	7	35	9	283	364	395	2304
2021	364	190	387	60	81	164	9	95	18	118	387	293	2166
Rata-Rata Curah Hujan Tahunan (Annual Average Rain Intensity)													2334,6

Sumber (Source): Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), 2022 (Indonesian Agency for Meteorological, Climatological, and Geophysics, 2022)

Erodibilitas

Validasi nilai erodibilitas tanah melalui verifikasi sampel tekstur tanah 3 fraksi dari uji laboratorium. Hasil uji parameter tekstur tanah pada empat lokasi menunjukkan dominasi pasir berlempung dan lempung berpasir. Sementara itu, hasil uji parameter permeabilitas menunjukkan lokasi penelitian termasuk kelas cepat dan sangat cepat.

Tingginya fraksi pasir menyebabkan permeabilitas yang sangat cepat atau cepat karena partikel pasir memiliki pori tanah makro yang mengakibatkan tanah lebih mudah meloloskan air sehingga pergerakan air semakin cepat (Wahyuni & Handayani, 2016). Struktur tanah pada empat lokasi termasuk kategori halus dan sedang. Kandungan bahan organik tanah yaitu sebesar 2,57-5,31% di HKm Karang Sidemen; 3,13 – 5,37% di *Hortipark* Tastura; 2,6 – 4,91% di KHDTK Rarung; dan 2,54 – 6,58 % di Tahura Nuraksa.

Nilai erodibilitas tanah pada empat lokasi tergolong rendah, berkisar antara 0,1019-0,1906 (Tabel 6). Permeabilitas

yang tinggi dapat meningkatkan infiltrasi dan mengurangi limpasan permukaan (Siswandana, Pratama, Febrianto & Simponi, 2020) sehingga menurunkan nilai K (Arsyad, 2010). Nilai Erodibilitas yang rendah berbanding terbalik dengan kandungan bahan organik. Nilai koefisien korelasi diperoleh sebesar $R = -0,927$, artinya semakin besar kandungan bahan organik maka semakin kecil nilai erodibilitas. Erodibilitas yang rendah menunjukkan bahwa tanah tidak mudah tererosi.

Kemiringan Lereng

Kelas kemiringan lereng untuk masing-masing tipe pengelolaan hutan disajikan pada Gambar 3. Kelas kemiringan lereng pada lokasi penelitian didominasi oleh kelas datar dan landai kecuali di Tahura Nuraksa yang didominasi kelas agak curam dan curam. Nilai LS ditentukan menggunakan pendekatan Input Nilai Tabel berdasarkan kelas kemiringan lerengnya (Tabel 1) (Kumendong, Walangitan, Tasirin & Thomas (2015); Utomo & Aprilia (2014).

Tabel (Table) 6. Erodibilitas Tanah di Empat Tipe Pengelolaan Lahan (*Soil Erodibility in Four Land Management Types*).

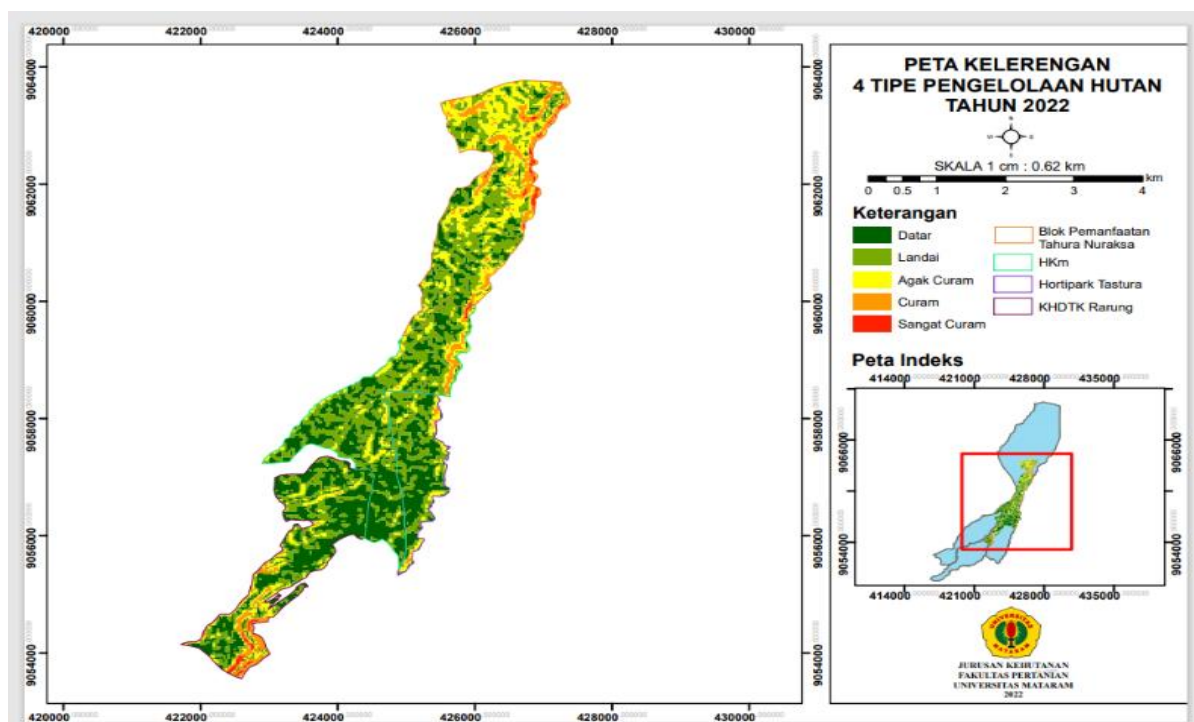
Tipe Pengelolaan Lahan	M	Bahan Organik (a)	Harkat Struktur Tanah (b)	Harkat Permeabilitas Tanah (c)	Erodibilitas (K)	Kelas
HKm Karang Sidemen	5056,80	6,97	2	1	0,1396	Rendah
<i>Hortipark</i> Tastura	4887,47	7,40	3	1	0,1459	Rendah
KHDTK Rarung	4962,934	5,93	3	1	0,1906	Rendah
Tahura Nuraksa	4364,8	7,47	2	1	0,1019	Rendah

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

Faktor C dan P

Nilai faktor C paling rendah diperoleh di Tahura Nuraksa dan yang paling tinggi di KHDTK Rarung dan *Hortipark* Tastura (Tabel 6). Tahura Nuraksa termasuk kelas hutan alam namun minim serasah. HKm termasuk kebun campuran berkerapatan tinggi. *Hortipark* dan KHDTK Rarung termasuk kebun campuran berkerapatan sedang. Foto tutupan vegetasi di tiap tipe

pengelolaan disajikan pada Gambar 4. Menurut Arsyad (1989), tindakan konservasi tanah dapat berupa penanaman dalam strip, pembuatan terasering, dan pengolahan tanah menurut kontur. Namun demikian, keempat tipe pengelolaan lahan tersebut belum dilakukan tindakan konservasi tanah. Oleh karena itu, nilai faktor P adalah 1.



Gambar (Figure) 3. Peta Kemiringan lereng di Empat Tipe Pengelolaan Lahan (*Slope Map in Four Land Management Types*)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

Tabel (Table) 6. Nilai Faktor C (*C Factor Value*)

Tipe Pengelolaan Lahan (<i>Land Management Types</i>)	Macam Penggunaan (<i>Crop Management</i>)	Nilai Faktor C (<i>Factor C Value</i>)
HKm	Kebun campuran dengan kerapatan tinggi	0,10
<i>Hortipark</i> Tastura	Kebun campuran dengan kerapatan sedang	0,20
KHDTK Rarung	Kebun campuran dengan kerapatan sedang	0,20
Tahura Nuraksa	Hutan alam dengan serasah sedikit	0,005

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)



(a) HKm Karang Sidemen



(b) Hortipark Tastura



(c) KHDTK Rarung



(d) Tahura Nuraksa

Gambar (Figure) 4. Tutupan Vegetasi di Empat Tipe Pengelolaan Lahan (Vegetation Cover in Four Land Management Types)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)

Erosi Potensial (A) dan Erosi yang Ditoleransi (T)

Nilai faktor erosivitas dan faktor erodibilitas tergolong sama untuk empat tipe pengelolaan lahan. Oleh karena itu, nilai erosi potensial di empat tipe pengelolaan lahan sangat dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng (LS), faktor vegetasi (C), dan faktor tindakan konservasi (P). Secara normal, erosi akan meningkat jika kecuraman kemiringan dan panjang kemiringan juga meningkat (Hanafi, 2021). Di semua lokasi, semakin terjal kemiringan lereng, semakin besar nilai erosi potensialnya (Tabel 7). Di semua

kelas lereng, KHDTK Rarung memiliki nilai erosi potensial yang paling besar dibandingkan dengan tiga tipe lainnya pada kelas lereng yang sama. Tahura Nuraksa mempunyai nilai erosi potensial yang paling rendah. Bahkan untuk kemiringan lereng sangat curam, nilai erosi potensial Tahura Nuraksa (4,4 ton/ha/tahun) jauh di bawah tiga tipe pengelolaan lain disebabkan oleh tutupan vegetasi berupa hutan sekunder dengan kerapatan tinggi (Gambar. 4d). Karnilawati (2020) menyebutkan bahwa tutupan vegetasi berfungsi untuk menahan butiran air hujan yang jatuh sehingga aliran permukaan akan lebih kecil.

Tabel (Table) 7. Erosi potensial (*Potential erosion*)

Kemiringan lereng (<i>Slope</i>)	Erosi Potensial (ton/ha/thn)			
	HKm	Hortipark Tastura	KHDTK Rarung	Tahura Nuraksa Zona Pemanfaatan
Datar	5,173	10,812	14,125	0,188
Landai	18,105	37,845	49,440	0,660
Agak Curam	40,090	83,800	109,474	1,463
Curam	87,941	183,819	240,137	3,209
Sangat curam	122,859	256,807	335,486	4,484

Sumber (*Source*): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)Tabel (Table) 8. Erosi yang dapat ditoleransi (*Torelable Erosion*)

Tipe Pengelolaan Lahan	<i>Bulk Density</i>	Kedalaman efektif tanah (cm)	Faktor kedalaman efektif tanah	EqD	<i>Resource Life</i>	T (ton/ha/tahun)
HKm	0,54	90	1	90	400	12,15
<i>Hortipark</i>	0,61	125	1	125	400	19,0625
KHDTK	0,75	130	1	130	400	24,375
Tahura	0,4	80	1	80	400	8

Sumber (*Source*): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

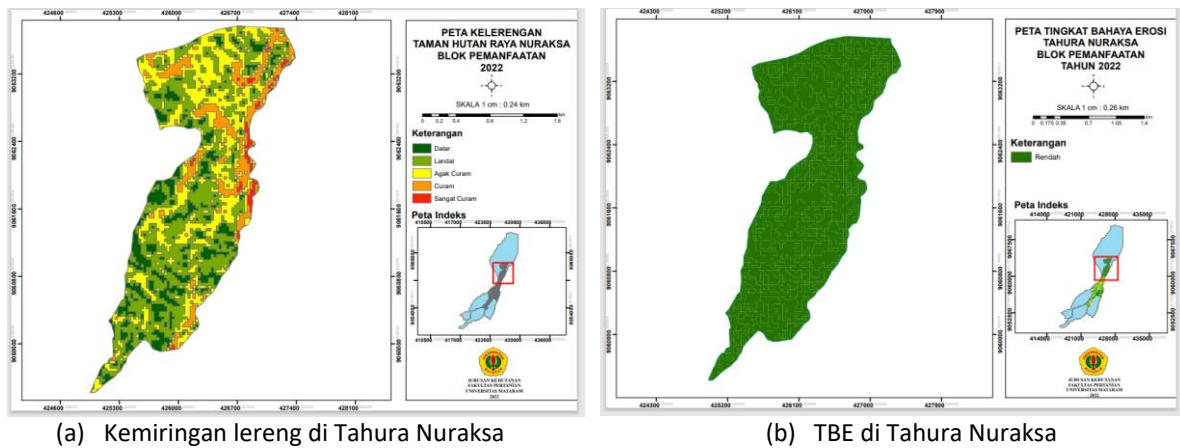
Nilai rata-rata erosi yang ditoleransi per tahun (T) disajikan pada Tabel 8. Faktor yang paling mempengaruhi besar kecilnya erosi terbolehan adalah faktor solum tanah dan *bulk density* (Pasaribu, 2018). Untuk HKm, *Hortipark* dan KHDTK, nilai erosi yang ditoleransi masih berada di bawah erosi potensialnya hanya pada kelas kemiringan lereng datar. Pada kelas kemiringan lereng lainnya, nilai erosi

potensial berada jauh di atas erosi yang ditoleransi. Nilai erosi yang ditoleransi yaitu 12,15 ton/ha/tahun untuk HKm, 19 ton/ha/tahun untuk *Hortipark*, 24 ton/ha/tahun untuk KHDTK, dan 8 ton/ha/tahun untuk Tahura. Nilai erosi yang dapat ditoleransi yang terendah berada di Kawasan Tahura Nuraksa. Nilai ini masih jauh di bawah nilai erosi potensial terbesarnya yaitu 4 ton/ha/tahun.

Tabel (Table) 9. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) pada empat jenis pengelolaan lahan (*Erosion Hazard Level in Four Land Management Types*)

Lokasi	Tingkat Bahaya Erosi (TBE)							
	HKm		Hortipark Tastura		KHDTK Rarung		Tahura Nuraksa Zona Pemanfaatan	
	TBE	Kriteria TBE	TBE	Kriteria TBE	TBE	Kriteria TBE	TBE	Kriteria TBE
Datar	0,425	Rendah	0,569	Rendah	0,588	Rendah	0,023	Rendah
Landai	1,490	Sedang	1,991	Sedang	2,060	Sedang	0,083	Rendah
Agak Curam	3,299	Sedang	4,410	Tinggi	4,561	Tinggi	0,183	Rendah
Curam	7,237	Tinggi	9,674	Tinggi	10,005	Tinggi	0,401	Rendah
Sangat curam	10,111	Sangat tinggi	-	-	13,978	Sangat tinggi	0,560	Rendah

Sumber (*Source*): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

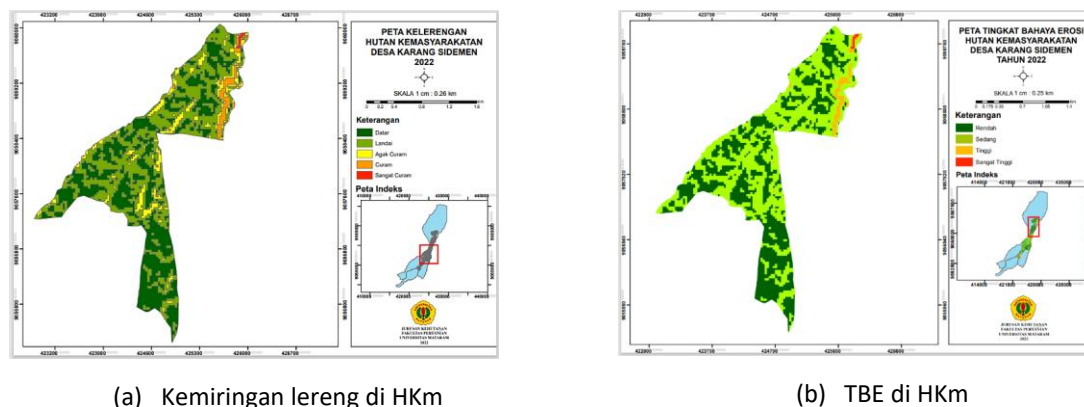


Gambar (Figure) 5. Peta TBE di Tahura Nuraksa Blok Pemanfaatan (TBE Map in Tahura Nuraksa Utilization Block)
Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)

Tingkat Bahaya Erosi

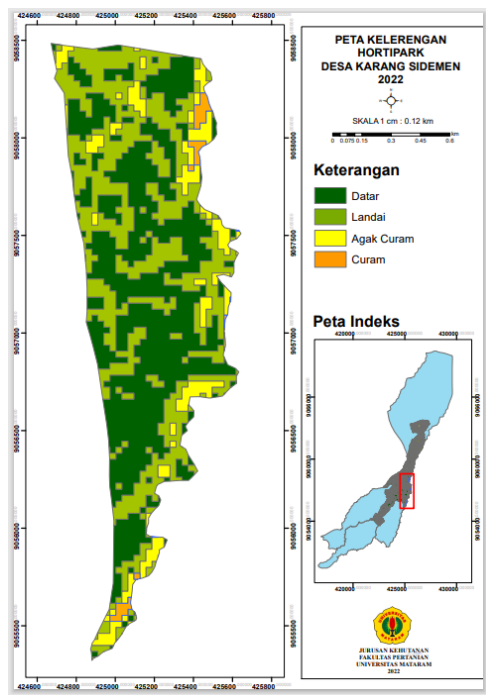
Secara umum, TBE berkorelasi dengan kelas kemiringan lerengnya (Tabel 9). Lereng yang curam meningkatkan laju limpasan permukaan sehingga memperbesar tingkat erosi, namun vegetasi tegakan tinggi dan penutup tanah dapat menghambat laju air (Lathifah & Yunianto, 2013), seperti yang diamati di Tahura Nuraksa, dimana TBE untuk semua kelas lereng termasuk rendah (Gambar 5). Hal ini disebabkan karena tutupan pada Tahura Nuraksa adalah hutan sekunder dan nilai *bulk density* yang rendah.

HKm Karang Sidemen merupakan agroforestri. TBE di HKm Karang Sidemen didominasi oleh kategori rendah dan sedang. TBE pada HKm Karang Sidemen dipengaruhi oleh kelas kemiringan lerengnya seperti terlihat pada Gambar 6. TBE yang rendah terdapat pada kelas kemiringan lereng datar. Pada kelas lereng landai dan agak curam, TBE termasuk sedang. Terdapat area dengan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) kategori sangat tinggi dan tinggi di area dengan kemiringan lereng yang sangat curam dan curam.

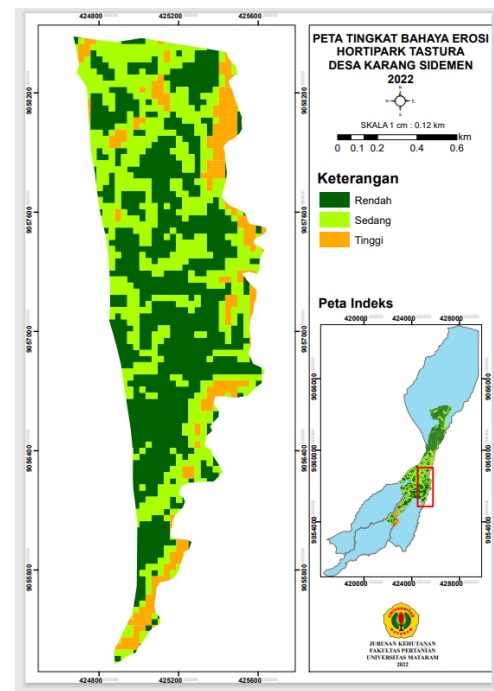


Gambar (Figure) 6. Peta TBE di Hutan Kemasyarakatan Desa Karang Sidemen (TBE Map in Karang Sidemen Village Community Forest)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)



(a) Kemiringan lereng di Hortipark



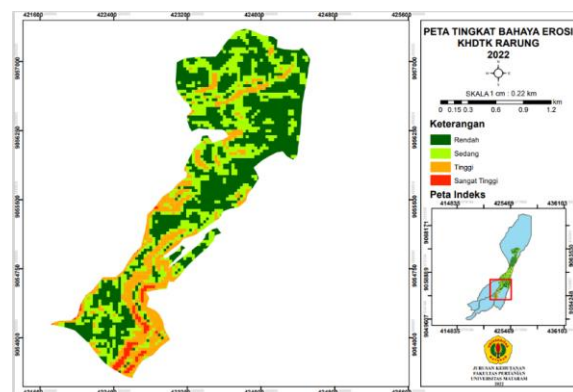
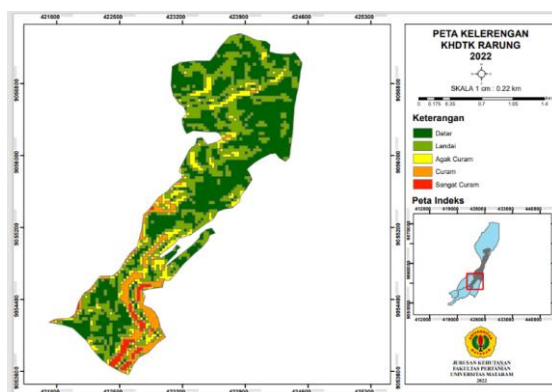
(b) TBE di Hortipark

Gambar (Figure) 7. Peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE) Pada Hortipark Tastura (*TBE Map in Hortipark Tastura*)
Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

TBE di Hortipark Tastura mayoritas termasuk kategori rendah dan sedang. Seperti pada HKm, TBE di Hortipark juga dipengaruhi oleh kelas kemiringan lerengnya (Gambar 7). TBE yang rendah terdapat pada kelas kemiringan lereng datar. Pada kelas lereng landai, TBE termasuk sedang. Pada kelas kemiringan

lereng agak curam dan curam, TBE termasuk tinggi.

TBE di KHDTK Rarung mayoritas termasuk kategori rendah dan sedang (Gambar 8). Namun terdapat area-area dengan TBE tinggi dan sangat tinggi yaitu pada area dengan kemiringan lereng agak curam, curam, dan sangat curam.



Gambar (Figure) 8. Peta TBE di KHDTK Rarung (*TBE Map in KHDTK Rarung*)
Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

Berdasar hasil analisis TBE di empat tipe pengelolaan lahan diketahui bahwa kelas lereng yang sama dapat memberikan kelas TBE yang berbeda. Walaupun jenis tanah di lokasi penelitian berbeda, namun faktor tanah (erodibilitas) tergolong sama untuk semua tipe pengelolaan lahan yaitu termasuk kategori rendah. Jenis tanah mediteran coklat tersebar dominan diareal KHDTK Rarung (Susila, Nandini & Setyayudi, 2021) dan *Hortipark* Tastura, sedangkan jenis entisol tersebar di Tahura Nuraksa dan HKm Karang Sidemen (Siregar, Harianjah, Dalilah, Cahyono & Ulfah, 2019). Hal yang perlu diperhatikan adalah faktor kemiringan lereng (LS), vegetasi dan tindakan konservasi (CP). Nilai P yang tinggi perlu diturunkan melalui penyempurnaan perlakuan agroteknologi (Fitri, Hartoyo, Simangunsong & Satriawan, 2020).

Nilai TBE semakin meningkat pada kemiringan lereng yang semakin curam (Hardiana, Kadir & Nugroho, 2019). Namun, kemiringan lereng yang curam hingga sangat curam juga dapat tergolong dalam TBE rendah (Tabel 9) jika tutupan vegetasi termasuk hutan yang rapat. Studi yang dilakukan oleh Banun, Pramulya, dan Jumiati (2022) di DAS Sibau Kabupaten Kapuas Hulu juga menunjukkan bahwa TBE dapat tergolong rendah pada kemiringan lereng yang sangat curam apabila tutupan lahan didominasi oleh hutan. Selain itu, erosi pada tanaman tahunan lebih rendah daripada tanaman semusim (Chofyan & Andriani, 2020). Pengaruh vegetasi terhadap laju erosi sangat signifikan karena tajuk dan batang tanaman dapat mengurangi kekuatan air hujan yang jatuh ke permukaan tanah melalui proses intersepsi (Bhan & Bahera, 2014).

Agroforestri yang diterapkan di HKm, *Hortipark* dan KHDTK Rarung ditujukan untuk mengurangi lahan kritis sehingga mengurangi erosi, mencegah banjir, dan memelihara sumber air sekaligus menambah pendapatan masyarakat sekitar hutan dengan kombinasi tanaman tahunan dan tanaman semusim. Hasil analisis TBE pada penelitian ini menunjukkan bahwa agroforestri di HKm Karang Sidemen, KHDTK Rarung dan *Hortipark* Tastura perlu menerapkan tindakan-tindakan konservasi tanah (Akbar, 2021; Lestari, Ichsan & Aji, 2022) dan melakukan pengayaan vegetasi (Kadir & Badaruddin, 2015; Sarminah, Prititania & Karyati, 2018; Senoaji, Hidayat, Anwar, Lukman & Susanti, 2022; Utomo et al. 2016) untuk mengoptimalkan penurunan TBE dan meningkatkan *soil lifespan*.

IV. KESIMPULAN

Nilai erodibilitas tanah dari empat tipe pengelolaan lahan tidak berbeda signifikan termasuk kategori rendah. Semua tipe pengelolaan lahan belum menerapkan praktik konservasi tanah. Indikasi penyebab perbedaan TBE di seluruh tipe pengelolaan lahan pada kelas lereng yang sama lebih dipengaruhi oleh faktor vegetasi. Hasil analisis TBE menunjukkan bahwa nilai terendah pada semua kelas kemiringan lereng terdapat di Tahura Nuraksa Zona Pemanfaatan. Hal ini disebabkan oleh faktor dominansi tutupan lahan Tahura Nuraksa berupa hutan sekunder yang rapat. Di lain sisi, walau ketiga tipe pengelolaan lahan lainnya mengusahakan agroforestry sebagai kesamaan pola pengelolaan tanaman namun nilai TBE masing-masing tipe pada

kelas lereng yang sama terlihat berbeda. Tingkat variasi kerapatan vegetasi pada ketiga tipe pengelolaan lahan menjadi faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai TBE tersebut. Kerapatan vegetasi di *Hortipark* Tastura dan KHDTK Rarung lebih rendah dibandingkan HKm Karang sidemen. Pada kelas lereng agak curam, nilai TBE di *Hortipark* dan KHDTK Rarung adalah kategori tinggi sedangkan di HKm adalah kategori rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram atas dukungan finansial pelaksanaan penelitian ini melalui skema hibah Penelitian Peningkatan Kapasitas tahun 2022.

KONTRIBUSI

Penulis 1 merancang riset. Penulis 2 melakukan pengambilan data dan analisis data di laboratorium. Penulis 3 menghitung potensi erosi dan tingkat bahaya erosi. Penulis 4 melakukan analisis kelerengan. Semua penulis berkontribusi secara merata dalam penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, I. (2018). Digital elevation model (DEM) coupled with geographic information system (GIS): an approach towards erosion modeling of Gumara watershed, Ethiopia. *Environ Monit Assess* 190, 568. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6888-8>

Akbar, H. (2021). Prediksi erosi dan teknik konservasi tanah sistem agroforestri Di Sub Das Krueng Meueh Kabupaten

Bener Meriah. *Jurnal Agrium*, 18(2), 102-108. <https://ojs.unimal.ac.id/agrium/article/view/5327>

Anwar, L. A., Latifah, S., & Setiawan, B. (2023). Potensi tanaman pangan pada Hutan Kemasyarakatan Desa Karang Sidemen Kecamatan Batukliang Utara Kabupaten Lombok Tengah. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 18(1), 48 – 59. DOI: 10.31849/forestra.v18i1.11033

Arsyad, S. (1989). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor, Indonesia : IPB Press.

Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi ke-2. Bogor, Indonesia : IPB Press.

Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Banun, E. M., Pramulya, M., & Jumiaty, J. (2022). Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap erosi tanah di DAS Sibau Kabupaten Kapuas Hulu. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(2), 229 – 238.

Bhan, S & Bahera, U.K. (2014). Conservation agriculture in India: problems, prospects and policy issues. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4), 1-12. <https://core.ac.uk/download/pdf/81968341.pdf>

Behera, D.K., Jamal, S., Ahmad, W.S., Taqi, M., & Kumar, J. (2023). Estimation of soil erosion using RUSLE Model and GIS Tools: a study of Chilika Lake, Odisha. *J Geol Soc India*, 99, 406–414. <https://doi.org/10.1007/s12594-023-2324-y>

Chofyan & Andriani, D. I. (2020). Soil erosion in agroforestry development in

- South Bandung region, Indonesia. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1469 012122. doi 10.1088/1742-6596/1469/1/012122.
- Depountis, N., Michalopoulou, M., Kavoura, K., Nikolakopoulos, K., & Sabatakakis, N. (2020). Estimating Soil Erosion Rate Changes in Areas Affected by Wildfires. *International Journal of Geo-Information*, 9, 562. <http://doi.org/10.3390/ijgi9100562>.
- Dewi, I. N., Awang, S. A., Andayani, W., & Suryanto, P. (2018). Karakteristik petani dan kontribusi hutan kemasyarakatan (HKm) terhadap pendapatan petani di Kulon Progo. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12, 86–98. <https://doi.org/10.1111/gcb.13051>
- Eraku, S. (2019). *Konservasi Lingkungan Berbasis Kearifan Lokal*. Yogyakarta, Indonesia. Zahir Publishing. <https://repository.ung.ac.id/get/karyailmiah/4285/Sunarty-Suly-Eraku-HaKI-Konservasi-Lingkungan-Berbasis-Kearifan-Lokal.pdf>
- Erol, A., Koşkan, Ö., & Başaran, M. A. (2015). Socioeconomic modifications of the universal soil loss equation. *Solid Earth* 6:1025–1035. <http://doi:10.5194/se-6-1025-2015>
- Evans, D.L., Quinton, J. N., Davies, J. A. C., Zhao, J., & Govers, G. (2020). Soil lifespans and how they can be extended by land use and management change. *Environmental Research Letters* 15, 1–11. doi: 10.1088/1748-9326/aba2f. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aba2fd>
- Fitri, R. & Nuraida, N. (2022). Sistem agroforestri berkelanjutan di daerah aliran sungai Ciliwung Hulu. *Jurnal Kehutanan Papuasiasia*, 8(1), 87 – 93. <https://jurnalpapuasiasia.unipa.ac.id/jurnalpapuasiasia/article/download/293/223>
- Fitri, R., Hartoyo, A. P. P., Simangunsong, N. I., & Satriawan, H. (2020). Pengaruh agroforestri terhadap kualitas daerah aliran sungai Ciliwung Hulu, Jawa Barat. *JPPDAS*, 4(2), 173-186. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2020.4.2.173-186>
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
- Hanafi, F., & Pamungkas, D. (2021). Aplikasi Model Rusle untuk Estimasi Kehilangan Tanah Bagian Hulu di Sub Das Garang, Jawa Tengah. *Jurnal Geografi*, 18(1), 30-36. <http://doi.org/10.15294/jg.v18i1.28079>
- Hammer, W. I. (1981). *Soil Conservation Consultant Report Center For Soil Research*. Bogor, Indonesia : LPT Bogor
- Hadi, H. (2018). Analisis dampak pengelolaan Hutan Kemasyarakatan di Desa Sapit Kecamatan Suela Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Geodika*, 2(1), 9-21. <https://ejournal.hamzanwadi.ac.id/index.php/gdk/article/download/867/549>
- Hardiana, E., Kadir, S., & Nugroho, Y. (2019). Analisis tingkat bahaya erosi di DAS Dua Laut Kabupaten Tanah Bumbu. *Jurnal Sylva Scientiae*, 2(3), 529 – 239. <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/jss/article/download/1833/1466>
- Huda, A. S., Nugraha, A. L., & Bashit, N. (2020). Analisis perubahan laju erosi periode tahun 2013 dan tahun 2018 berbasis data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (Studi Kasus: DAS Garang). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 106 – 114.

- <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/viewFile/26109/23181>
- International Panel on Climate Change. (2019). *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers*. Diakses dari: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf. Diakses tanggal: 10 Juni 2023.
- Greiber, T., Janki, M., Orellana, M., Savaresi, A., Shelton, D. (2009). Conservation with Justice. A Rights-based Approach. *IUCN Environmental Law and Policy Paper No. 71*. IUCN, Gland, Switzerland. xiv + 118 pp. Diakses dari: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/EPLP-071.pdf>. Diakses tanggal: 10 Juni 2023.
- Jinger, D., Kumar, R., Kakade, V., Dinesh, D., Singh, G., Pande, V. C., Bhatnagar, P. R., ... Singhal, V. (2022). Agroforestry for controlling soil erosion and enhancing system productivity in ravine lands of Western India under climate change scenario. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 267. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09910-z>
- Karnilawati, Fadhli, R., & Suryani. (2020). Prediksi Erosi Potensial pada Beberapa Tipe Penggunaan Lahan di Kawasan Langgien Kecamatan Bandar Baru Kabupaten Pidie Jaya. *Jurnal Agrodiversity*, Vol: 01 (01), 37-44. <http://journal.unigha.ac.id/index.php/JAD>
- Kadir, S. & Badaruddin, B. (2015). Pengayaan vegetasi penutupan lahan untuk pengendalian tingkat kekritisn DAS Satui Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis*, 3(2), 145-152. DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/jht.v3i2.1519>.
- Keesstra, L. S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittone, P., Smith, P., Cerda, A., Montanarella, ... Fresco, F. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2, 111– 128. doi:10.5194/soil-2-111-2016.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Permen LHK 9 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Perhutanan Sosial*. Berita Negara Republik Indonesia No. 320, 2021. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *The State of Indonesia's Forest 2022 towards FOLU Net Sink 2030*. ISBN: 978-623-440-004-5. Pp.2. Diakses dari: https://www.menlhk.go.id/site/single_post/4984/the-state-of-indonesia-s-forests-2022-soifo-2022. Diakses tanggal: 11 Juni 2023
- Koloa, C., & Samanta, S. (2013). Development Impact Assessment Along Merkhram River through Remote Sensing and GIS technology. *Int J Asian Acad Res Assoc*, 5(1), 26–41.
- Kumendong, N R., Walangitan, H.D., Tasirin, J.S., & Thomas, A. (2015). Analisa tingkat bahaya erosi dalam rangka perencanaan rehabilitasi dan konservasi tanah areal Model Mikro Das (MDM) Marawas Swp Das Tondano. *Cocos*, 6(13).
- Lathifah, D. H., & Yunianto, T. (2013). Hubungan antara fungsi tutupan vegetasi dan tingkat erosi DAS Secang Kabupaten Kulonprogo. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(1), 106-114.

- <https://media.neliti.com/media/publications/238194-hubungan-antara-fungsitutupan-vegetasi-e3689322.pdf>
- Latifah, S., Hidayati, E., & Valentino, N. (2022). Soil characteristics of six forest management regimes in Lombok, Indonesia. *Jurnal Belantara*, 5 (1), 59-71. doi: 10.29303/jbl.v5i1.889.
- Lesmana, D., Fauzi, M., & Sujatmoko, B. (2021). Analisis kemiringan lereng daerah aliran sungai Kampar dengan titik keluaran waduk PLTA Koto Panjang. *Jom FTEKNIK*, 8(2), 1-7. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/viewFile/30947/29810>
- Lestari, L. M., Ichsan, A. C., & Aji, I. M. L. (2022). Analisis tingkat bahaya erosi pada lahan Garapan kelomok hutan Makmur Desa Mekar Sari. *Jurnal Tengawang*, 12(2), 129 – 146. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/tengawang/article/download/52283/75676593946>
- Martapani, A. N., Fauzi, H., & Naparin, M. (2021). Dampak Hutan Kemasyarakatan terhadap Aspek Sosial Ekonomi Masyarakat Studi Kasus: Masyarakat Peduli Gambut Sukamaju KPH Kayu Tangi. *Jurnal Rimba Lestari*, 1(1), 35 – 46, DOI: 10.29303/rimbalestari.v1i1.387
- Nandini, R., Krisnawati, K., & Rahayu, A. A. D. (2022). Potential development of partnership agroforestry as carbon farming in KHDTK Rarung, Central Lombok. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1180 012026. DOI 10.1088/1755-1315/1180/1/012026
- Nandini, R., Kusumandari, A., Gunawan, T., & Sadono, R. (2019). Perubahan kualitas lingkungan pada hutan kemasyarakatan di Daerah Aliran Sungai Babak, Pulau Lombok, *J. Penelit. Kehutan.*, 3(1), 43–50.
- <https://doi.org/10.20886/jpkf.2019.3.1.43-50>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K., J., ... Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Sci Rep*, 7, 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- Pasaribu, P. H.P., Rauf, A., & Slamet, B. (2018). Kajian tingkat bahaya erosi untuk arahan konservasi tanah pada berbagai tipe penggunaan lahan di Kecamatan Merdeka Kabupaten Karo. *Jurnal Geografi*, 10(1), 51 – 62. <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/geo/article/view/7898/7569>
- Rahman, S. A., Sunderland, T., Roshetko, J. M., Basuki, I., & Healey, J. R. (2016). Tree culture of smallholder farmers practicing agroforestry in Gunung Salak Valley, West Java, Indonesia. *Small-Scale Forestry*, 15(4), 433–442. <https://doi.org/10.1007/s11842-016-9331-4>
- Reed, J., Vianen, J. Van, Barlow, J., & Sunderland, T. (2017). Land use policy have integrated landscape approaches reconciled societal and environmental issues in the tropics? *Land Use Policy*, 63, 481–492. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.021>
- Samanta, S., Koloa, C., Pal, D. K., & Palsamanta, B. (2016). Estimation Of Potential Soil Erosion Rate Using RUSLE And E30 Model. *Model Earth Syst. Environ.* 2:149, <http://doi.org/10.1007/s40808-016-0206-7> <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40808-016-0206-7.pdf>

- Sarminah, S., Prititania, F. S., & Karyati. (2018). Pengaruh Keragaman Vegetasi terhadap Laju Erosi. *Jurnal Agrifor*, 17(2), 355 –368. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v2i2.3085>
- Senoaji, G., Hidayat, M. F., Anwar, G., Lukman, H. A., & Susanti, E. (2022). Revegetasi lahan miring dengan agroforestri tanaman unggulan lokal untuk mengurangi erosi dan meningkatkan ekonomi di Desa Argah Indah I, Bengkulu Tengah. *Indonesian Journal of Community Empowerment and Service*, 2(1), pp: 36-41. DOI: <https://doi.org/10.33369/icom.es.v2i1.20599>.
- Setiawan, B., Hidayati, E., Valentino, N., Aji, I. M. L., Mudhofir, M., & Latifah, S. (2021). Penguatan Ketahanan Pangan Rumah Tangga Desa Karang Sidemen Kecamatan Batukliang Utara Melalui Penanaman Bibit Produktif. *Jurnal PEPADU*, 2(3), 334-350. <https://doi.org/10.29303/jurnalpepadu.v2i3.348>
- Siregar, C. A., Harianja, A. H., Dalilah, Cahyono, S., & Ulfah, S. (2019). Distribusi tanaman dan nilai ekonomi hutan kemasyarakatan di Kecamatan Batukliang Utara Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 16(2), 115-132. https://www.researchgate.net/publication/338112036_Distribusi_Tanaman_dan_Nilai_Ekonomi_Hutan_Kemasyarakatan_di_Kecamatan_Batukliang_Utara_Kabupaten_Lombok_Tengah.
- Siswandana, S., Pratama, M. I. L., Febrianto, H., & Simponi, M. (2020). Tingkat erodibilitas tanah di Daerah Aliran Sungai Bayang Sani. *Jambura Geoscience Review*, 2(1), 50 – 57. <http://dx.doi.org/10.34312/jgeosrev.v2i1.2468>
- Sulaeman, D., & Westhoff, T. (2020). *The Causes and Effects of Soil Erosion, and How to Prevent It*. Diakses dari <https://www.researchgate.net/publication/339553392>
- Sulistiyono, A. D. (2010). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Produktivitas Tanaman Jagung di DAS Grindulu Hulu Kabupaten Pacitan dan Ponorogo Tahun 2009*. Skripsi. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Diakses dari <https://core.ac.uk/download/pdf/16509142.pdf>
- Susanto, A., & Triyono, J. (2016). Cluster model of agroforestry land use to support food sustainability. *Current Agriculture Research Journal*, 4(2), 143–147.
- Susila, I. W. W., Nandini, R., & Setyayudi, A. (2021). Pertumbuhan tanaman ketak (*Lygodium circinnatum* (Burn.F.) Swartz) dengan pemupukan pada beberapa pohon rambatan di KHDTK Rarung, Lombok Tengah. *J. Perbenihan Tanam. Hutan*, 9, 1–14
- Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Estimation of soil erosion in a rain shadow river basin in the southern western Ghats, India using Rusle and Transport Limited Sediment Delivery Function. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.12.001>
- Utomo, K.D. & Aprilia, A. (2014). Perencanaan konservasi Sub DAS Cimuntur Kabupaten Ciamis. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(1), 105–118.
- Utomo, M., Sabrina, T., Sudarsono, Lumbanraja, J., Rusman, B., & Wawan. (2016). *Ilmu Tanah Dasar -Dasar dan Pengelolaan*. Jakarta, Indonesia: Kencana Prenada Media Group.

Wahyuni, D. & Handayani, T. (2016). Pengaruh sifat fisik tanah terhadap konduktivitas hidrolik jenuh pada lahan pertanian produktif di Desa Arang Limbung Kalimantan Barat. *Jurnal Prisma Fisika*, 4 (1): 28 – 35.

Wischmeier, W.H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses, a Guide to Conservation Planning*; Agriculture Handbook No. 537. Washington, DC, USA : US Department of Agriculture, Science and Education Administration.

Halaman ini sengaja dikosongkan

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)

Suhendra^{1*}, Geri Budianto¹, Halauddin¹, dan Liza Lidiawati²

¹Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu

²Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu

*Email: suhendra@unib.ac.id

Diterima: 31 Mei 2023, Direvisi : 30 Juli 2023, Disetujui : 25 Agustus 2023

ABSTRACT

Muara Bangkahulu Subdistrict is a flood-prone area in Bengkulu City, Bengkulu Province. This study aims to identify the depth of aquifers in flood-prone areas. Flood-prone areas in the Muara Bangkahulu sub-district were analyzed using the Vertical Electrical Sounding (VES) method with Schlumberger configuration of as many as 40 VES points in residential areas. Data acquisition was carried out using the Geoelectric IP Meter MAE X612-EM. The obtained data was then processed using Progress 3.0 software to get a 1D Resistivity Log cross-section. The log data was then modelled using Voxler 4 software to find an overview of the distribution of aquifers and subsurface structures in 3D. The distribution of resistivity values at depths of 2, 5, 10, 15, 30, and 40 meters using ArcGIS 10.8 are mapped to see the distribution of aquifers. The aquifers in the Muara Bangkahulu sub-district are sand and gravel with a value of 0-25 $\Omega.m$. The intrusion of seawater influences this value. Flood-prone areas are located at shallow aquifer, namely depths of 2-5 m in the villages of Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, and Bentiring Permai.

Keywords: *Aquifer; Flood; VES*

ABSTRAK

Kecamatan Muara Bangkahulu di Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu merupakan daerah yang rawan bencana banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kedalaman akuifer daerah rawan banjir. Daerah rawan bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dianalisis menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding (VES)* dengan konfigurasi Schlumberger sebanyak 40 titik VES di lokasi permukiman. Akuisisi data dilakukan dengan alat Geolistrik IP Meter MAE X612-EM, dan data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software Progress 3.0* menghasilkan penampang *Resistivity Log 1D*. Data Log yang didapatkan dilakukan pemodelan menggunakan *software Voxler 4* untuk mendapatkan gambaran

persebaran akuifer dan struktur bawah permukaan secara 3D, kemudian di petakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 2, 5, 10, 15, 30, dan 40 meter menggunakan *software ArcGIS 10.8* untuk melihat daerah rawan banjir. Hasil interpretasi memperlihatkan bahwa akuifer di Kecamatan Muara Bangkahulu berupa pasir dan kerikil yang memiliki nilai tahanan jenis 0–25 $\Omega.m$. Nilai tersebut dipengaruhi oleh adanya intrusi air laut. Daerah rawan banjir berada pada akuifer dangkal, yaitu 2–5 m yang berada pada kelurahan Rawa Makmur, Rawamakmur Permai, dan Bentiring Permai.

Kata kunci: Akuifer; Banjir; VES

I. PENDAHULUAN

Muara Bangkahulu merupakan kecamatan terluas kedua di Kota Bengkulu. Di kecamatan ini terdapat Sungai Air Bengkulu dan Sungai Air Hitam. Sungai Air Bengkulu berada di sebelah Selatan yang menjadi pembatas dari dua Kecamatan yaitu Muara Bangkahulu dengan Sungai Serut, sedangkan Sungai Air Hitam berada di sebelah utara yang menjadi pembatas antara Kecamatan Muara Bangkahulu dengan Kabupaten Bengkulu Tengah (BPS Kota Bengkulu 2022). Kecamatan Muara Bangkahulu berlokasi di bagian hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu. Kondisi kemiringan lereng yang landai, banyak terdapat daerah rawa-rawa, dan padatnya pembangunan menyebabkan daerah tersebut rawan terjadi banjir. Daerah yang sering kebanjiran berada di kelurahan Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, dan Beringin Raya (Suherianti, Mayub, & Farid, 2018). Hampir setiap tahun pada musim hujan, kecamatan Muara Bangkahulu selalu tergenang banjir. Pada Juli 2022 terjadi banjir di kecamatan Muara Bangkahulu.

Hujan adalah bagian dari siklus hidrologi. Hujan akan menjadi bencana banjir jika curah hujannya tinggi dan sebarannya tidak terkendali (Juleha,

Rismalinda, & Rahmi, 2016). Lebih lanjut disebutkan pula, bahwa banjir diakibatkan oleh faktor alam seperti curah hujan tinggi yang berlangsung lama, lokasi banjir terjadi pada topografi yang relatif datar, memiliki pola sungai berbelok-belok, keadaan struktur batuan yang lambat meresap, dan kapasitas sungai yang tidak dapat menampung serta mengalirkan air ke laut (Wahyuningtyas & Pratomo, 2015). Bagi daerah yang sering tergenang, kedalaman genangan banjir menentukan tingkat keparahan kerusakan struktur bangunan yang tergenang (Amin, Ilmiaty, & Marlina, 2020).

Air tanah merupakan air hujan yang terinfiltrasi ke bawah permukaan lalu secara perlahan mengalir ke dataran yang lebih rendah melalui pori-pori batuan (akuifer) atau di permukaan tanah lalu mengalir sepanjang aliran sungai. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kondisi air tanah adalah kondisi geologi dan litologi (Manrulu, Esse, Hasmarita, Mulia, & Nurfaalq, 2021). Air tanah terdapat di banyak jenis formasi geologi, yang dikenal sebagai akuifer. Akuifer dapat didefinisikan sebagai suatu formasi yang mengandung bahan permeabel jenuh yang cukup untuk menyimpan air dalam jumlah yang signifikan (Todd & Mays, 2004). Beberapa

formasi geologi yang berfungsi menjadi akuifer adalah endapan aluvial, batugamping, vulkanik, batupasir, dan batuan beku. Dari sisi kedudukannya terhadap lapisan yang kedap air, maka akuifer dapat dibagi menjadi akuifer tertekan dan akuifer bebas. Akuifer bebas berada di bawah muka air tanah, karena itu akuifernya dalam keadaan bebas (tidak terletak di bawah lapisan yang kedap air), dan tanpa ada tekanan (Simpen, Utama, Redana, & Zulaikah, 2016).

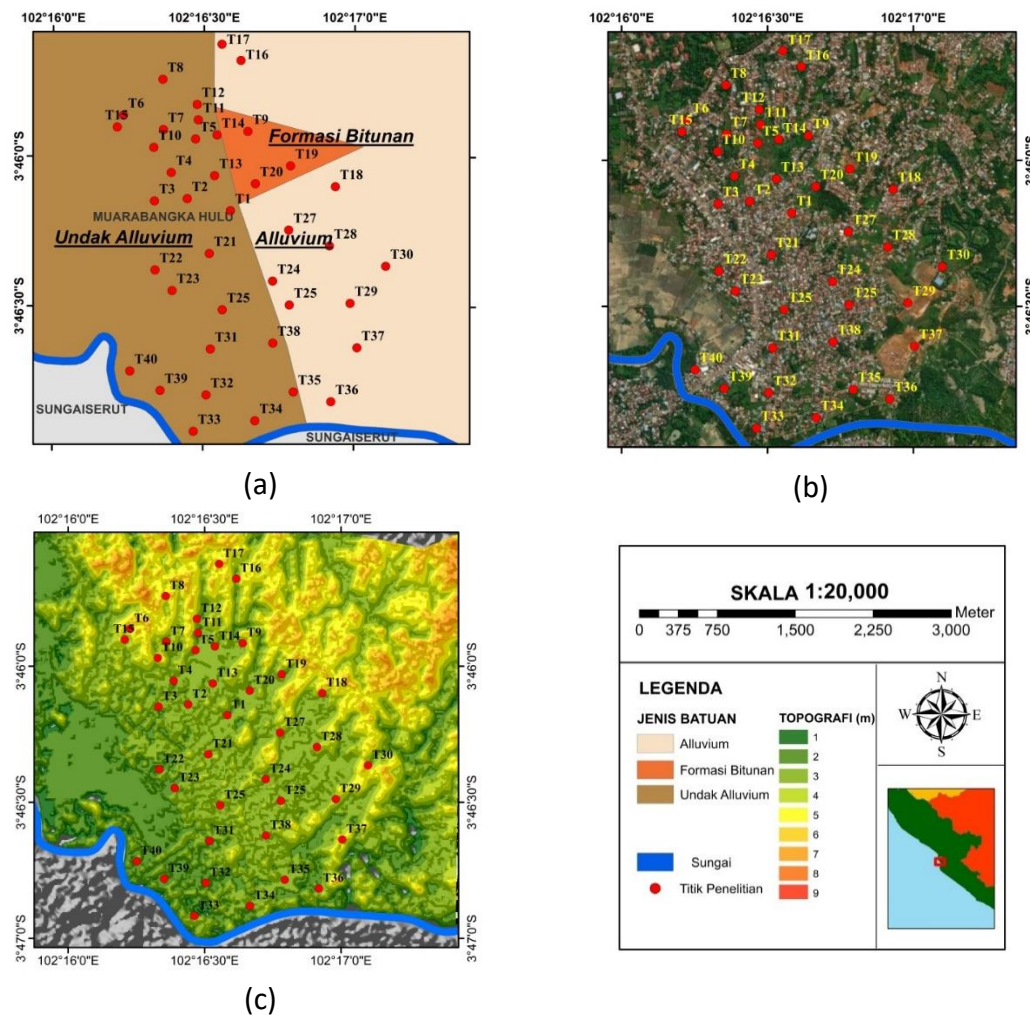
Metode yang efisien untuk mencari dan mengetahui keberadaan akuifer adalah metode geofisika. Salah satu metode geofisika yang efisien untuk mengkarakterisasi geologi dan hidrologi bawah permukaan adalah metode geolistrik dengan *Vertical Electrical Sounding* (VES) yang menggunakan konfigurasi *Schlumberger* (George, Emah, & Ekong, 2015). Batuan dan litologi memiliki sifat kelistrikan berbeda (Haerudin, Rustadi, Fitriawan, Siska, & Farid, 2019). Secara umum resistivitas batuan berhubungan dengan berbagai sifat batuan seperti kadar kejenuhan air, porositas, kerapatan rekahan, kerapatan massa, derajat kejenuhan air, ion terlarut dalam air dan pemadatan batuan akibat proses sedimentasi dan geologi (Phengnaone, Arjwech, & Everett, 2020). Penelitian ini bertujuan memetakan persebaran akuifer berdasarkan nilai resistivitas guna mengetahui kedalaman akuifer. Akuifer dangkal merupakan daerah rawan banjir sehingga berdasarkan kedalaman akuifer dan kondisi daerah yang diteliti akan dapat menjadi pertimbangan

untuk pembangunan berkelanjutan dan mitigasi banjir.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 28-31 Mei 2022 di Kecamatan Muara Bangkahulu. Lokasi pengamatan ditentukan secara *purposive sampling* untuk mempermudah akuisisi data sebanyak 40 titik pengukuran VES pada kawasan pemukiman padat penduduk, seperti yang terlihat pada Gambar 1 (b). Gambar 1 (a) menunjukkan formasi geologi yang berbeda, dimana hal ini akan sangat berpengaruh terhadap nilai resistivitas. Topografi merupakan faktor utama yang mempengaruhi kedalaman akuifer dan daerah rawan bencana banjir. Dari Gambar 1 (c) terlihat bahwa Muara Bangkahulu memiliki topografi yang relatif rendah terutama pada daerah rawan bencana banjir, topografi pada daerah penelitian memiliki ketinggian 1-9 mdpl. Survei awal dilakukan untuk menentukan panjang lintasan, pengukuran titik awal, dan kedalaman yang diinginkan. Pada penelitian ini kedalaman pengukuran ditentukan berdasarkan pertimbangan lahan yang dapat untuk menancapkan elektroda secara horizontal, karena dilakukan di tempat padat penduduk. Berdasarkan survey diperoleh 40 titik VES yang dapat di akuisisi datanya, yaitu dengan total panjang lintasan 80 m dengan kedalaman hingga 40 m. Data yang diakuisisi tersebut kemudian diolah, dianalisis, dan diinterpretasikan untuk menentukan lapisan akuifer pada daerah penelitian.



Gambar (Figure) 1. (a) Peta Geologi (Geological map), (b) Lokasi titik pengukuran VES (VES measurement point locations) (c) Peta Topografi (Topographical map)

Sumber (Source): BIG (2022), Google Earth dan Data DEMNAS

B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan satu set alat Geolistrik IP Meter MAE X612-EM, 2 Elektroda arus dan 2 elektroda potensial, 2 kabel penghubung, 4 rol kabel *resistivity*, meteran, *accumulator*, dan *Global Positioning System* (GPS) yang digunakan untuk memindai kordinat lokasi penelitian. Untuk perangkat lunak pengolahan data dari akuisisi data VES digunakan *software Progress 3.0*, *Voxler 4*, *ArcGIS 10.8* dan seperangkat laptop. Semua peralatan ini memiliki fungsi dalam akuisisi data lapangan, serta pengolahan data untuk

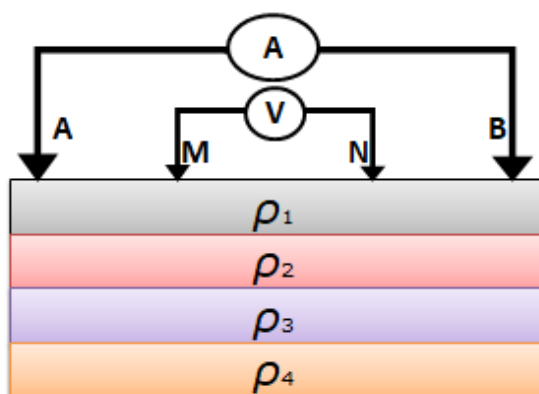
melihat persebaran akuifer di daerah rawan banjir.

C. Metode Penelitian

Untuk mengetahui ketersediaan akuifer, intrusi air laut, porositas, dan konduktivitas hidrolik dari akuifer berpori dapat menggunakan metode geolistrik (Kazakis, Vargemezis, & Voudouris, 2016). Metode geolistrik didasarkan bahwa setiap lapisan di bawah permukaan bumi akan memberikan respon yang berbeda berupa nilai resistivitas jika dialiri oleh arus listrik (Bachtiar, Yoseph, & Firmansyah, 2022).

Metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) merupakan metode yang memanfaatkan sifat tahanan jenis suatu batuan untuk melihat kondisi bawah permukaan tanah. Parameter resistivitas untuk mengkarakterisasi keadaan fisis bawah permukaan akan terkait dengan material serta kondisi bawah permukaan (Hanifa, Sota, & Siregar, 2016). Setiap batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda tergantung pada beberapa faktor, seperti usia batuan, kandungan elektrolit, densitas, porositas, permeabilitas, dan lain sebagainya (Mohammad, Mardiana, Yuniardi, Firmansyah, & Alfadli, 2016). Oleh karena itu, resistivitas batuan bernilai dalam interval (Sehah, Raharjo, & Aziz, 2018).

Konfigurasi *Schlumberger* merupakan konfigurasi yang tepat untuk mengetahui jenis lapisan bawah permukaan sehingga dapat menentukan kedalaman dan ketebalan akuifer dan dapat digunakan di lahan yang tidak terlalu luas dalam akuisisi data lapangannya. Susunan elektroda pada konfigurasi *Schlumberger* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar (Figure) 2. Konfigurasi *Schlumberger*
(*Schlumberger configuration*)
Sumber (Source): Todd & Mays (2004)

Pada Gambar 2, elektroda A dan B sebagai perantara menginjeksikan arus listrik untuk mengukur beda potensial berdasarkan arus listrik yang diinjeksikan. Prinsip Konfigurasi *Schlumberger* yaitu jarak antara elektroda potensial A dan B dibuat tetap sedangkan jarak MN yang diubah-ubah. Saat jarak A dan B berubah pada jarak yang besar maka elektroda MN juga berubah tidak lebih besar dari 1/5 jarak A dan B. Untuk menghitung resistivitas batuan maka menggunakan persamaan 1 (Kirsch, 2006).

$$\rho = K \frac{U}{I} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- ρ = Resistivitas ($\Omega.m$)
- K = Faktor Geometri (meter)
- U = Beda Potensial (volt)
- I = Arus Listrik (ampere)

Faktor geometri (K) pada konfigurasi *Schlumberger* diketahui berdasarkan persamaan 2 (Kirsch, 2006).

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

Dimana :

- K = Faktor Geometri (m)
- AB = Jarak Elektroda Arus (m)
- MN = Jarak Elektroda (m)

Prinsip konfigurasi *Schlumberger* adalah jarak antar elektroda arus dan elektroda potensial akan berbeda sesuai dengan nilai kedalaman yang ingin diketahui karena jarak antara elektroda mempengaruhi kedalaman titik datum nilai resistivitas suatu batuan dengan klasifikasi akuifer berkisar antara 1-50 $\Omega.m$ (Tio, Yunita, Bernaldi, & Sugianto, 2022).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data lapangan menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) di Kecamatan Muara Bangkahulu dilakukan pada 40 titik VES. Data yang diperoleh diolah terlebih dahulu menggunakan *Software Progress 3.0*, kemudian dilakukan *Invers Modelling* untuk mendapatkan pencocokan model dengan model yang sebenarnya dengan nilai *Root Mean Square* (RMS) <5%. Hasilnya adalah penampang 1D berupa *Resistivity Log* dengan kedalaman 40 m dan nilai Resistivitas berkisar antara 0-800 $\Omega.m$ secara keseluruhan pada 40 titik pengukuran VES. Nilai resistivitas dari setiap mineral dan batuan berbeda-beda tergantung sifat konduktivitas suatu material yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai resistivitas struktur pada penampang *Resistivity Log* 1D kemudian diklasifikasikan berdasarkan Tabel 1 yang menunjukkan jenis-jenis lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas sebenarnya. Berdasarkan pengklasifikasian tersebut, jenis lapisan bawah permukaan di Kecamatan Muara Bangkahulu terdiri dari air tanah, alluvium, lempung, kerikil, pasir,

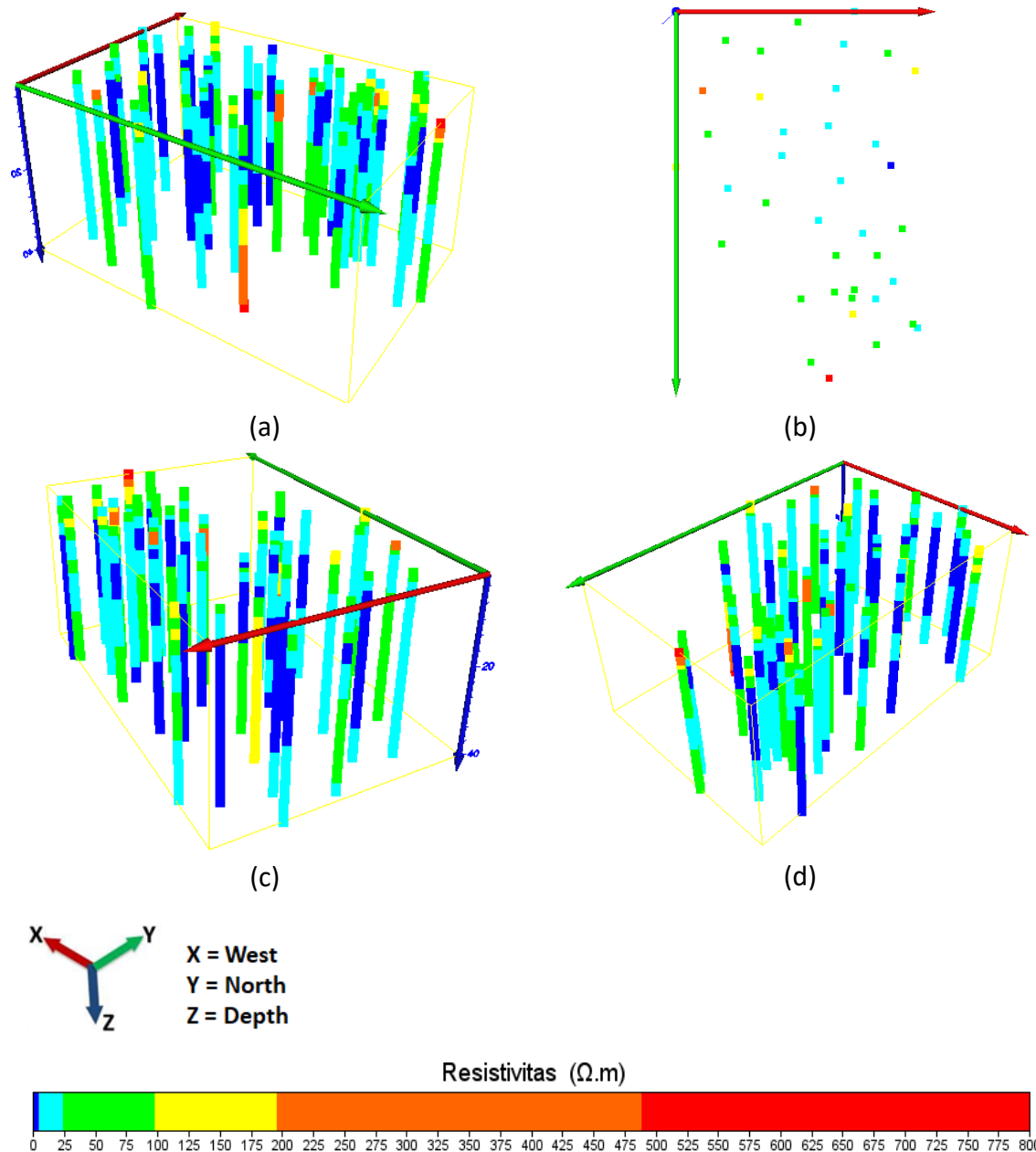
dan batu pasir. Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran VES, dan analisis nilai resistivitas untuk menentukan jenis material batuan pada daerah rawan banjir.

Gambar 3 menunjukkan model persebaran data log 1D yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda di setiap titik sounding VES. Setiap pengukuran diketahui memiliki kedalaman dan ketebalan lapisan akuifer yang berbeda-beda, yang disebabkan berbagai faktor yaitu geologi, topografi dan iklim. Ketiga faktor ini sangat berpengaruh terhadap kedalaman akuifer. Pada umumnya daerah yang memiliki topografi yang rendah akan memiliki lapisan akuifer yang dangkal karena air mengalir dari dataran yang tinggi ke dataran yang rendah. Faktor geologi mempengaruhi kedalaman akuifer. Dataran yang rendah memiliki komposisi batuan yang berasal dari sedimentasi dan pelapukan batuan sebelumnya seperti kerikil, pasir, lempung dan lanau. Iklim juga mempengaruhi kedalaman akuifer, pada daerah yang sering terjadi hujan cenderung memiliki akuifer yang lebih dangkal. Kedalaman dan ketebalan akuifer pada setiap titik VES tertera pada Tabel 2.

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

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

Sumber (*Source*): Tama & Supriyadi (2015); Syafarini, Hendrayana, & Winardi (2022)



Gambar (Figure) 3. Titik sounding dari akuisisi VES (Sounding points of VES acquisition from different sides) (a and d north side, b top side, c eastside)

Sumber (Source): Analisis menggunakan voxler 4 (Analysis using voxler 4, 2022)

Berdasarkan hasil akuisisi data dan pengolahan data VES pada Gambar 3, terjadi perbedaan kondisi bawah permukaan di Kecamatan Muara Bangkahulu karena beberapa faktor, seperti keadaan geologi, struktur batuan, dan topografi yang bervariasi. Hasil pengukuran menunjukkan nilai resistivitas 0-25 $\Omega.m$ merupakan lapisan akuifer,

termasuk di dalamnya adalah daerah intrusi air laut dengan muara sungai yang selalu mengalami pasang surut. Intrusi air laut memiliki Nilai resistivitas <5 $\Omega.m$, dikarenakan intrude air laut adalah konduktor yang sangat baik sehingga memiliki nilai resistivitas yang kecil (Kazakis, Pavlou, et al., 2016).

Tabel (Tabel) 2. Kedalaman dan ketebalan Akuifer serta RMS setiap titik pengukuran VES (*Aquifer depth and thickness and RMS of each VES measurement point based on Progress 3.0 processing results*)

Titik VES (VES point)	Kedalaman Akuifer (Depth of Aquifer) (m)	Ketebalan Akuifer (Aquifer Thickness) (m)	Nilai Resistivitas (Ω .m)	RMS (%)
1	-	-	-	-
2	6-16	10	15,76	4,0176
3	3-26	23	6,93-1,97	4,2024
4	2-40	38	2,2-6,93	1,9055
5	4-17	13	3,13-17,79	4,7629
6	10-14 & 18-27	4 & 9	22,32 & 21,54	1,3096
7	12-23	11	16,79	3,5557
8	8-40	32	4,73-7,39	1,4935
9	8-25	17	1,95-13,91	4,7725
10	11-40	29	12,34-20,29	3,1404
11	5-40	35	4,11-10,46	4,9733
12	4-40	35	3,36-16,68	1,8756
13	2-12	10	1,96-18,68	0,8676
14	7-40	33	6,23-14	4,0965
15	6-40	34	2,09-12,78	4,2903
16	7-40	33	2,72-12,2	2,7916
17	17-26	7	17,92	1,8362
18	6-11	6	2,88-7,27	3,5847
19	8-22	14	9,6-10,54	3,9542
20	2-5&10-26	3&16	2,51-22,04	3,3684
21	2-5&10-40	3&20	7,3-22,27 & 1,95-8,88	1,7166
22	2-40	38	1,17-11,31	1,0530
23	2-40	38	0,98-6,34	2,5920
24	2-40	38	2,94-24,56	1,3571
25	2-4&8-40	2&32	53-18,6 & 1,31-13,83	3,7113
26	2-18	16	0,29-8,73	1,8608
27	7-40	33	6,95-20,22	1,4028
28	2-40	72	3,82-21,42	0,5739
29	2-20	18	6,55-21,6	2,1467
30	4-25	21	12,63-14,28	1,9299
31	2-5	3	2,82-6,55	2,2752
32	2-30	28	0,97-10,98	3,4442
33	6-40	34	2,9-9,53	1,5063
34	3-19	16	1,4-24,35	4,0321
35	3-40	38	0,91-18,6	3,7847
36	3-40	38	5-21,06	0,9996
37	3-10	7	7,28-16,64	2,0994
38	9-40	31	8,44-18,73	4,6489
39	2-40	38	1,32-15,85	2,6411
40	10-40	50	9,49-24,7	4,4961

Sumber (Source): Analysis of Progress 3.0 data, 2022

Keterangan (Remarks): Hasil pengolahan VES dengan progress 3.0 (VES results using progress 3.0)

Air payau merupakan intrusi air laut dikarenakan daerah penelitian ini dekat dengan laut yang sungainya selalu mengalami pasang surut. Lapisan akuifer memiliki ketebalan dan kedalaman yang bervariasi seperti pada Tabel 2. Nilai resistivitas 25-100 $\Omega.m$ merupakan lapisan lempung dan lempung berpasir atau lempung yang berfungsi sebagai lapisan penutup akuifer (*impermeable*) sedangkan batu pasir dan kerikil pasiran terletak pada nilai resistivitas 100-150, kerikil memiliki nilai 150-480 $\Omega.m$ yang berwarna oranye, serta batuan keras memiliki nilai resistivitas 500-800 $\Omega.m$ (Tama & Supriyadi, 2015). Berdasarkan akuisisi data lapangan VES konfigurasi *Schlumberger* menunjukkan bahwa di setiap titik akuisisi data memiliki kedalaman akuifer yang berbeda. Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3 a dan d, daerah bagian utara penelitian memiliki kedalaman akuifer 5-17 m. Akuifer terdalam berada pada titik 17 dengan kedalaman 17 m, sedangkan akuifer di bagian Selatan berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3 b dan c yang berdekatan dengan Sungai Air Bengkulu lebih dangkal dibandingkan lapisan di bagian Utara, yaitu memiliki kedalaman rata-rata 2-3 m. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi dan topografi yang cenderung lebih rendah dan dekat dengan Sungai Air Bengkulu dibandingkan bagian Utara. Untuk melihat persebaran lapisan yang memiliki nilai resistivitas berbeda yang memiliki volume secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4 yang dilihat dari berbagai sisi.

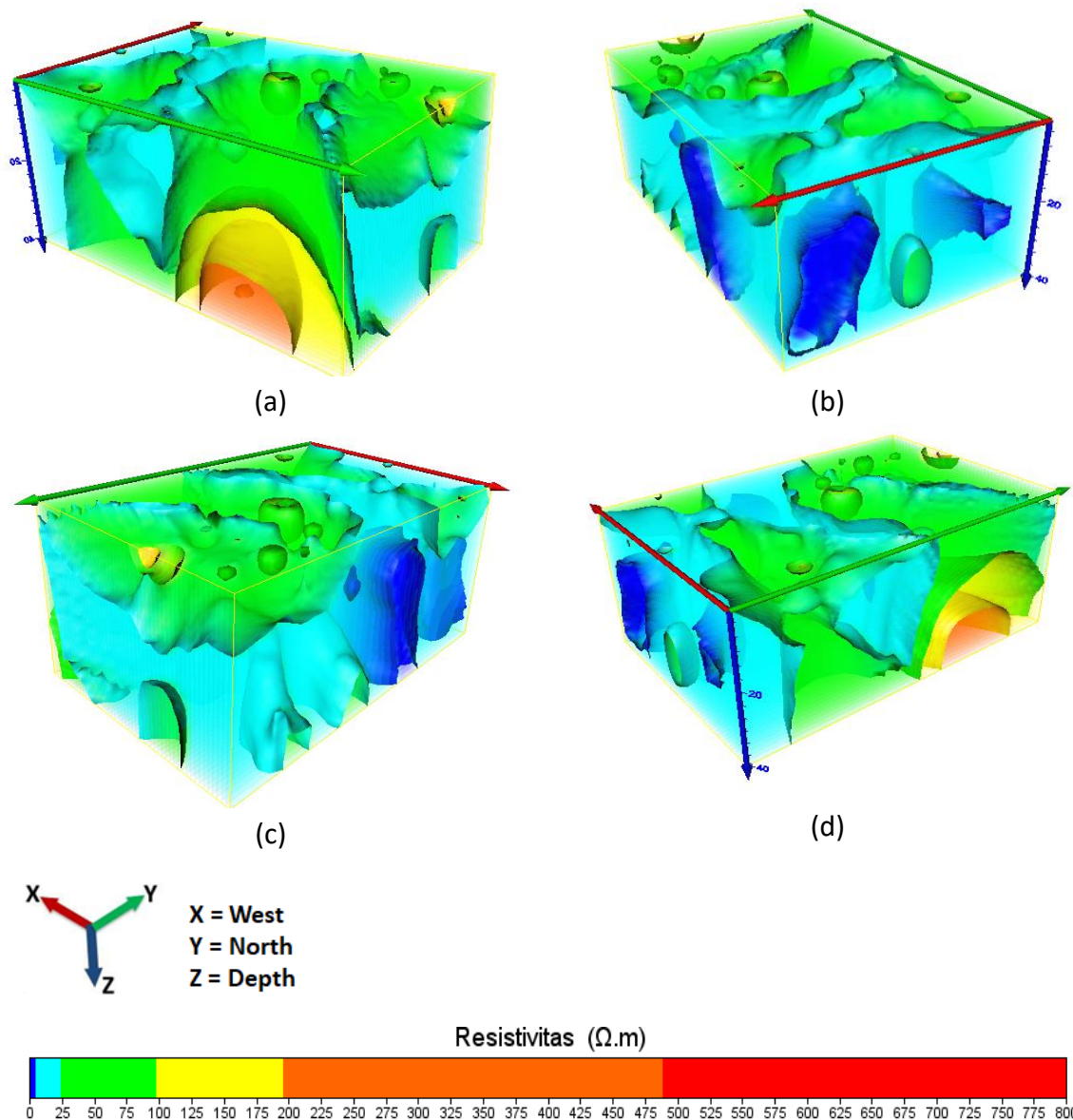
Dari Gambar 4 a, b, c dan d menunjukkan model 3D dari daerah yg diukur, berdasarkan nilai resistivitas 0-800 $\Omega.m$. Akuifer berdasarkan nilai resistivitas

pada Gambar 4 berkisar 0-25 $\Omega.m$ yang berwarna biru yang lebih dominan pada bagian tengah dan selatan dan yang berwarna biru tua merupakan intrusi air laut. Daerah berwarna hijau merupakan lempung yang bernilai 25-100 $\Omega.m$, di karenakan berdasarkan tabel resistivitas lempung memiliki nilai 1-100 $\Omega.m$. Dari beberapa riset yang memiliki geologi dan tempat yang hampir serupa yang berada di daerah banjir, lempung di daerah banjir memiliki nilai di bawah 100 $\Omega.m$ (Tama & Supriyadi, 2015). Lempung berperan sebagai lapisan batuan *impermeable* serta menjadi pembatas maupun penutup dari akuifer. Batu pasir dan kerikil pasiran yang berwarna kuning bernilai 100-200 $\Omega.m$, pasir 150-480 $\Omega.m$ yang berwarna oranye dan batuan keras memiliki nilai 500-800 $\Omega.m$ yang berwarna merah. Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin dekat dengan sungai lapisan akuifernya semakin tebal dan kedalamannya semakin dangkal. Persebaran lapisan akuifer memiliki kedalaman tidak merata dan semakin ke arah Selatan kedalaman akuifer tersebut semakin dangkal serta terdapat aliran sungai serta rawa-rawa. Berdasarkan model 3D serta kondisi geologi maka akuifer di daerah penelitian tersebut merupakan jenis akuifer bebas dan ditemukan pada kedalaman 2-18 m. Lapisan akuifer yang memiliki nilai 0-5 $\Omega.m$ dengan warna biru gelap diduga diisi dengan air payau yaitu intrusi air laut. Untuk melihat persebaran akuifer dapat dilihat pada Gambar 5 yang merupakan model 3D persebaran akuifernya saja.

Dari Gambar 5 lapisan akuifer memiliki nilai resistivitas 0-25 $\Omega.m$ yang mengalir

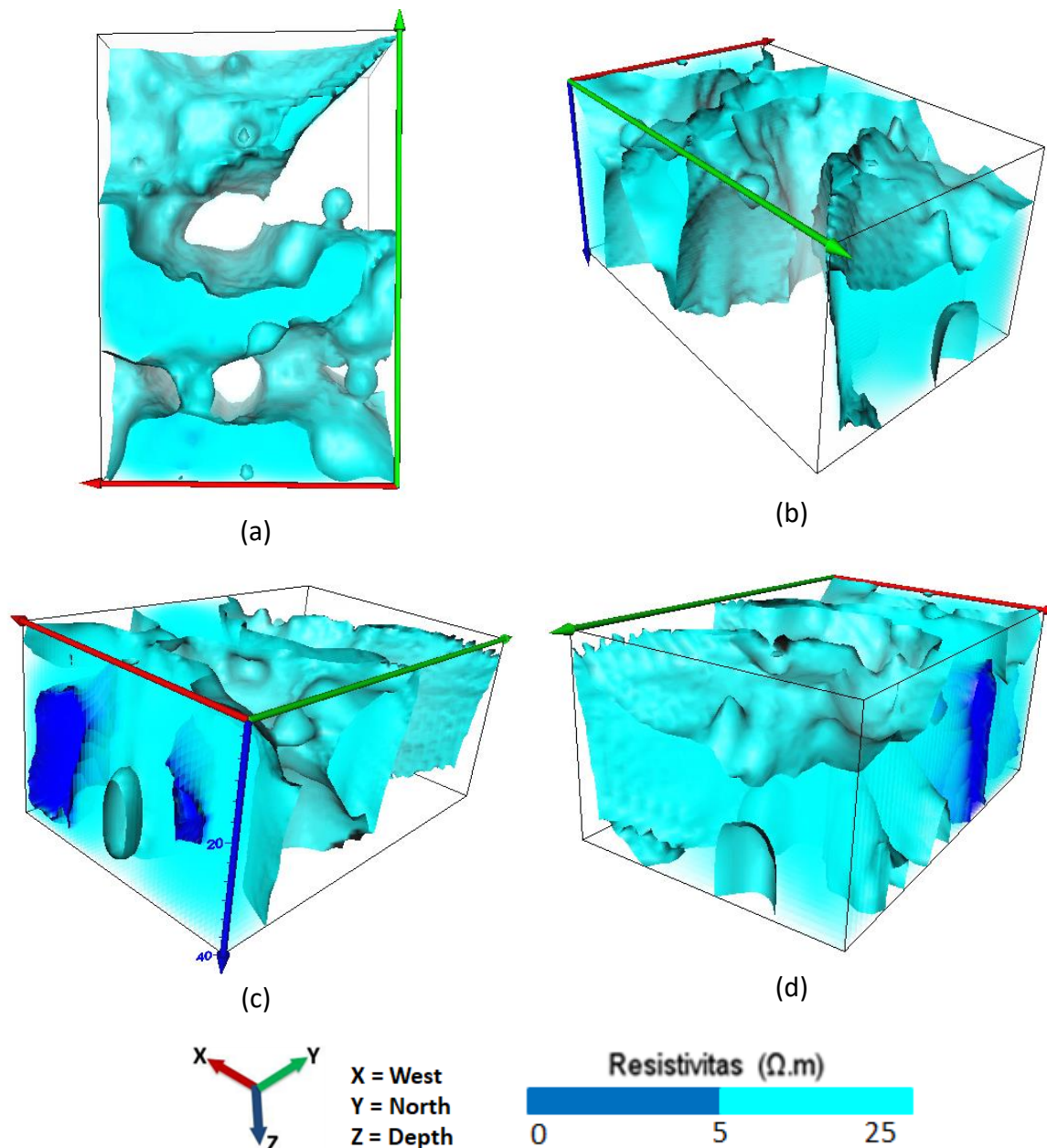
dari arah utara ke selatan menuju aliran sungai, dikarenakan bagian utara memiliki topografi yang lebih tinggi. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa lapisan akuifer pada bagian utara lebih dalam dibandingkan akuifer di bagian selatan. Nilai resistivitas 0-5 $\Omega.m$ yang berwarna

biru gelap dominan berada pada bagian selatan penelitian yang merupakan intrusi dari laut, sedangkan nilai resistivitas 5-25 $\Omega.m$ yang berwarna biru cerah merupakan lapisan akuifer yang tidak terpengaruh intrusi air laut.



Gambar (Figure) 4. Model 3D lapisan batuan berdasarkan nilai resistivitas (3D model of rock layers based on resistivity values from different sides (a and c north side, b top side, d east side))

Sumber (Source): Analisis menggunakan voxler 4 (Analysis using voxler 4, 2022)

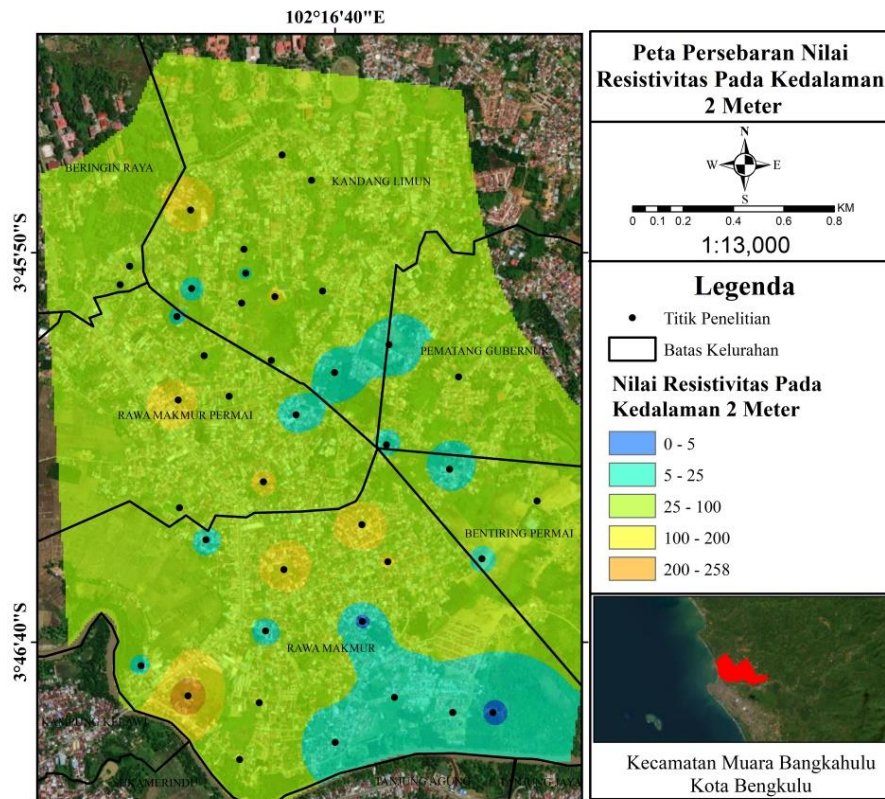


Gambar (Figure) 5. Model 3D lapisan akuifer berdasarkan nilai resistivitas 0-25 $\Omega.m$ (3D model of aquifer layers based on resistivity values from different sides (a and c north side, b top side, d east side))

Sumber (Source): Analisis menggunakan voxler 4 (Analysis using voxler 4, 2022)

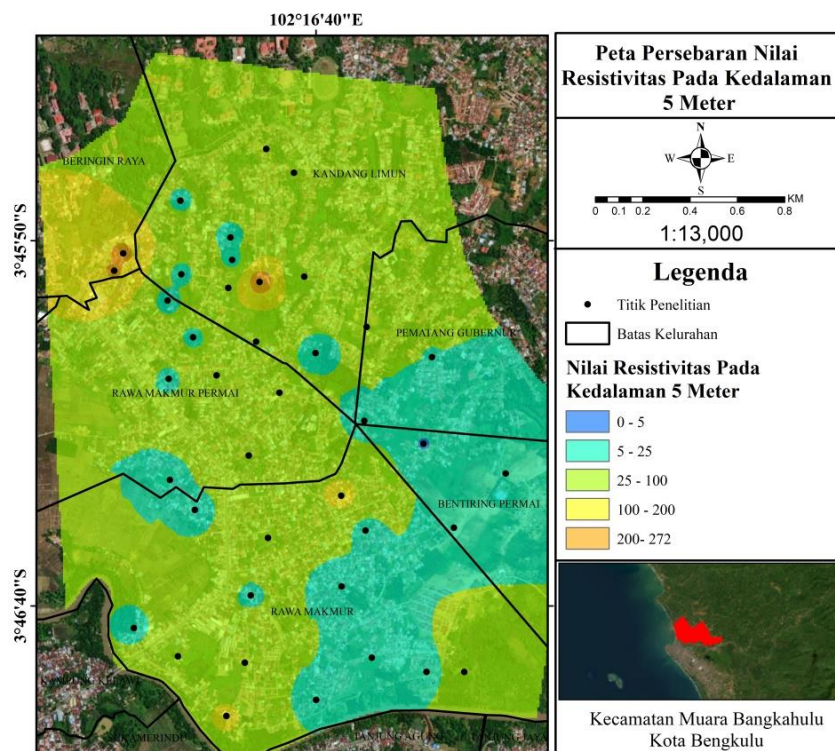
Daerah rawan banjir di kecamatan Muara Bangkahulu memiliki kedalaman akuifer dangkal diakibatkan topografi yang relatif rendah dan datar. Semakin dekat dengan sungai maka pada umumnya akuifer di daerah tersebut akan semakin dangkal seperti yang terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 menunjukkan

persebaran akuifer dangkal dengan kedalaman 2 m, sedangkan Gambar 7 menunjukkan nilai resistivitas batuan dengan kedalaman berkisar antara 5 m. Berdasarkan Gambar 6, 7, 8, 9, 10, dan 11 adalah peta persebaran nilai resistivitas lapisan pada kedalaman mulai dari 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 30 m, dan 40 m.



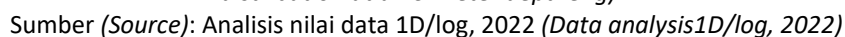
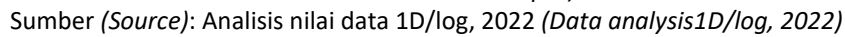
Gambar (Figure) 6. Peta persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 2 meter (*The map of resistivity values distribution at a 2-meter depth*)

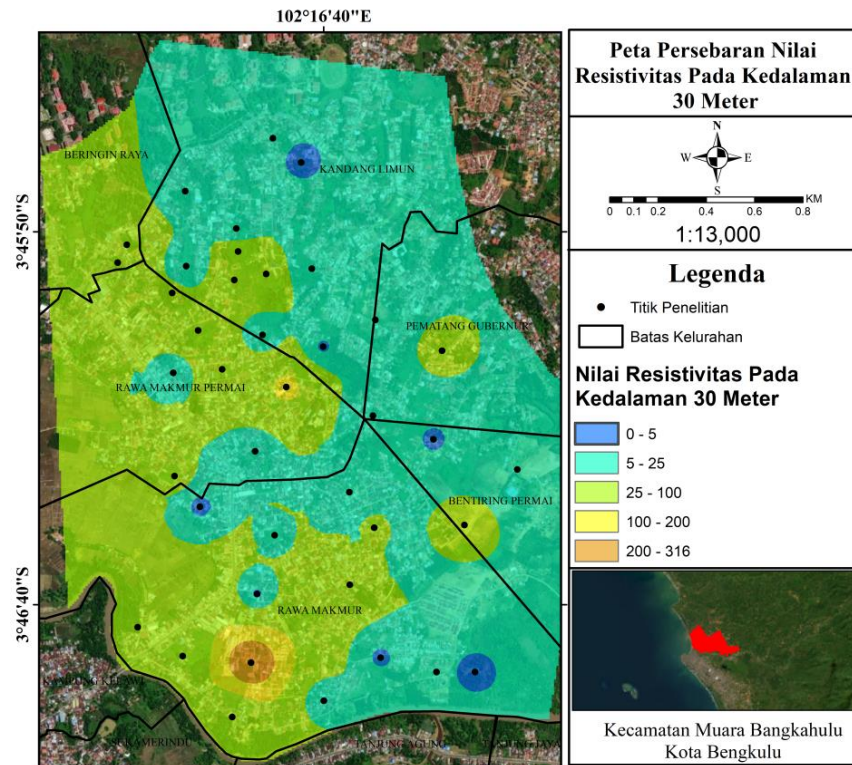
Sumber (Source): Analisis nilai data 1D/log, 2022 (Data analysis 1D/log, 2022)



Gambar (Figure) 7. Peta persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 5 meter (*The map of resistivity values distribution at a 5-meter depth*)

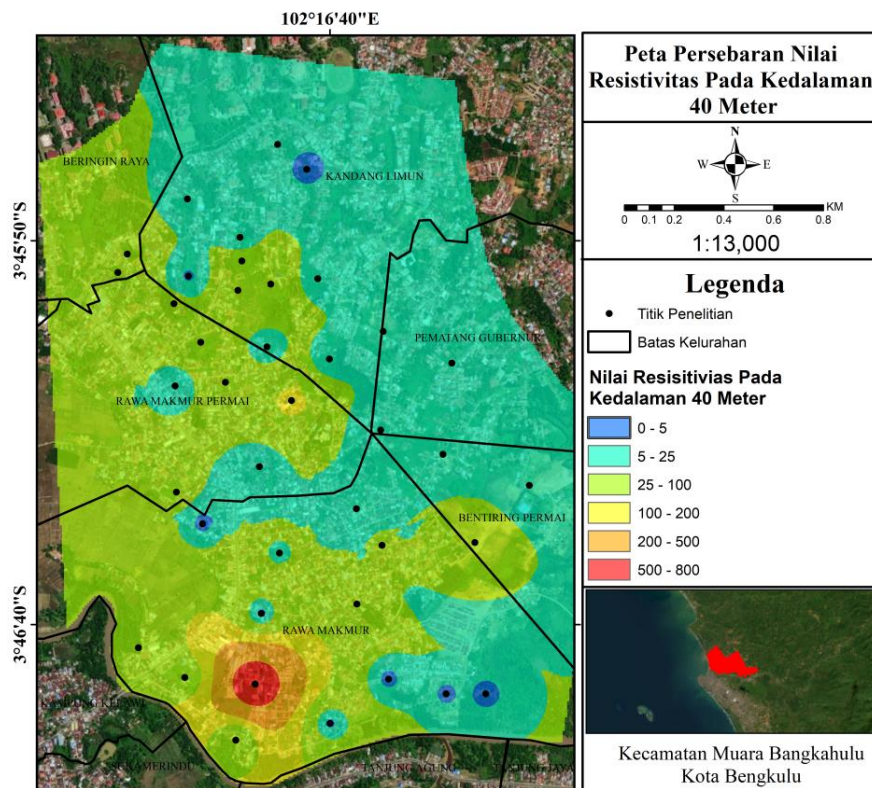
Sumber (Source): Analisis nilai data 1D/log, 2022 (Data analysis 1D/log, 2022)





Gambar (Figure) 10. Peta persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 30 meter (The map of resistivity values distribution at a 30-meter depth)

Sumber (Source): Analisis nilai data 1D/log, 2022 (Data analysis1D/log, 2022)



Gambar (Figure) 11. Peta persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 40 meter (The map of resistivity values distribution at a 40-meter depth)

Sumber (Source): Analisis nilai data 1D/log, 2022 (Data analysis1D/log, 2022)

Berdasarkan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 2 m pada Gambar 6, maka diketahui bahwa daerah bagian Selatan Kecamatan Muara Bangkahulu memiliki akuifer dangkal yang lebih luas yaitu pada Kelurahan Rawa Makmur dengan nilai resistivitas 0-25 Ω .m. Untuk nilai <5 Ω .m adalah intrusi dari air rawa dikarenakan berdasarkan hasil survei di lokasi, kecamatan Muara Bangkahulu banyak memiliki daerah rawa-rawa dan intrusi tersebut sangat dangkal sehingga tidak ada kemungkinan intrusi tersebut berasal dari laut.

Gambar 8 dan 9 merupakan persebaran nilai resistivitas dengan kedalaman 10 dan 15 m. Dari Gambar 8 dan 9 tersebut, persebaran nilai resistivitas hampir dipenuhi dengan nilai 0-25 Ω .m. Nilai tersebut diidentifikasi sebagai akuifer, termasuk di dalamnya untuk nilai <5 Ω .m merupakan intrusi air laut. Dengan kata lain, hampir seluruh daerah penelitian memiliki lapisan akuifer pada kedalaman 10-15 m. Pada Gambar 10 dan 11 juga tidak menunjukkan perbedaan yang jauh meskipun kedalaman yang dipetakan memiliki jarak 10 m. Gambar 10 merupakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 30 m, sedangkan Gambar 11 merupakan persebaran nilai resistivitas pada kedalaman 40 m. Dari Gambar 10 dan 11 dapat diidentifikasi bahwa arah aliran akuifer mengalir dari utara ke selatan menuju aliran sungai.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini diketahui bahwa lapisan akuifer di Kecamatan Muara

Bangkahulu cukup dangkal berkisar antara 2-17 m yang pada umumnya merupakan akuifer bebas dengan nilai 0-25 Ω .m, termasuk di dalamnya adalah intrusi air rawa dan air laut yang bernilai <5 Ω .m. Akuifer di daerah Selatan lebih dangkal dengan kedalaman 2-5 m, sedangkan bagian Utara lebih dalam, yaitu 6-17 m. Secara geologi, bagian selatan memiliki aliran sungai yang besar dan banyak terdapat rawa-rawa serta topografi yang rendah. Dikarenakan hal tersebut, maka daerah bagian selatan yang memiliki kedalaman akuifer 2-5 m merupakan daerah rawan banjir, yang berada pada kelurahan Rawa Makmur, Rawa Makmur Permai, Bentiring Permai, dan di perbatasan antara Kandang Limun dengan Pematang Gubernur.

Penelitian lebih lanjut yang disarankan membahas tentang naiknya volume banjir di akibatkan rob (yaitu genangan pasang surut air laut) DAS Air Bengkulu di Kecamatan Muara Bangkahulu. Kenaikan volume banjir dikarenakan saat pasang serta bencana banjir terjadi secara bersamaan maka dapat mengakibatkan terjadinya penambahan volume air dan masuknya air laut ke aliran sugai sehingga bencana banjir dapat meluas daripada yang seharusnya dan mengakibatkan banjir sulit untuk menyusut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih terima kasih untuk teman-teman angkatan 2019 program studi geofisika telah yang telah membantu dan meluangkan waktu untuk pengambilan data untuk penelitian ini.

KONTRIBUSI

Penulis pertama dan kedua merencanakan tema penelitian, mengumpulkan dan mengolah data, menyusun draf awal, dan membuat peta. Penulis ketiga dan ke empat membantu mengumpulkan dan mengolah data, serta membantu dalam penulisan draf. Penulis korespondensi sebagai pembimbing penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. B. Al, Ilmiaty, R. S., & Marlina, A. (2020). Geoplanning Flood Hazard Mapping in Residential Area Using Hydrodynamic Model. *Geoplanning*, 7(1), 25–36. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.7.1.25-36>
- Bachtiar, M. A., Yoseph, B., & Firmansyah, Y. (2022). Pendugaan Persebaran Akuifer Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas 1D dan 2D di Daerah Cicalengka dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Pajajaran Geoscience Journal*, 6(1), 657–664.
- BPS Kota Bengkulu. (2022). Kecamatan Muara Bangkahulu Dalam Angka 2022. In *BPS Kota Bengkulu*.
- BIG. (2022). Peta geologi dan desain titik penelitian kecamatan muara bangkahulu. *Badan Informasi Geospasial*, 1.
- 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, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.02.009>
- Haerudin, N., Rustadi, R., Fitriawan, H., Siska, D., & Farid, M. (2019). Earthquake Disaster Mitigation Mapping By Modeling of Land Layer and Site Effect Zone in The Kota Baru of South Lampung. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 8(1), 53–67. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v8i1.3705>
- Hanifa, D., Sota, I., & Siregar, S. S. (2016). Penentuan Lapisan Akuifer Air Tanah Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Desa Sungai Jati Kecamatan Mataraman Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX*, 13(1), 30–39.
- Juleha, Rismalinda, & Rahmi, A. (2016). Analisa Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Rokan IV Koto, Ujung Batu, Dan Tandun Mewakili Ketersediaan Air Di Sungai Rokan. *Jurnal Mahasiswa Teknik UPP*, 1(1), 1–8.
- Kazakis, N., Pavlou, A., Vargemezis, G., Voudouris, K. S., Soulios, G., Pliakas, F., & Tsokas, G. (2016). Seawater intrusion mapping using electrical resistivity tomography and hydrochemical data. An application in the coastal area of eastern Thermaikos Gulf, Greece. *Science of the Total Environment*, 543, 373–387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.041>
- Kazakis, N., Vargemezis, G., & Voudouris, K. S. (2016). Estimation of hydraulic parameters in a complex porous aquifer system using geoelectrical methods. *Science of the Total Environment*, 550(1), 742–750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.133>
- Kirsch, R. (2006). Groundwater geophysics: a tool for hydrogeology. In *Choice Reviews Online* (Vol. 44). <https://doi.org/10.5860/choice.44-1535>
- Manrulu, R. H., Esse, Hasmarita, Mulia, H. M., & Nurfalaq, A. (2021). Pembuatan

- Peta Litologi Sebagai Langkah Awal Penentuan Zona Akuifer Desa Cendana Kabupaten Luwu Timur. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18, 9–17.
- Manrulu, R. H., Nurfalaq, A., & Hamid, I. D. (2018). Pendugaan Sebaran Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Schlumberger di Kampus 2 Universitas Cokroaminoto Palopo. *Jurnal Fisika FLUX*, 15(1), 6. <https://doi.org/10.20527/flux.v15i1.4507>
- Mohammad, F., Mardiana, U., Yuniardi, Y., Firmansyah, Y., & Alfadli, M. K. (2016). Potensi Air tanah Berdasarkan Nilai Resistivitas Batuan di Kelurahan Cangkorah, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, 14(2), 141–152. Retrieved from <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc/article/view/9799>
- Phengnaone, K., Arjwech, R., & Everett, M. (2020). 2nd electrical resistivity tomography (Ert) method to delineate coal seams: Case studies on lignite and anthracite. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 42(4), 844–849.
- Sehah, Raharjo, S. A., & Aziz, A. N. (2018). Coastal Hydrogeological Model in the Iron Ore Prospect Area of Widarapayung Coastal, Cilacap Regency Based on 2D-Resistivity Data I. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya*, 8(2), 71–83.
- Simpem, I. N., Utama, I. N. S., Redana, I. W., & Zulaikah, S. (2016). Aquifer Porosity Prediction Base on Resistivity Data and Water Conductivity. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 2 (5).
- Suherianti, Mayub, A., & Farid, M. (2018). Potensi rawan banjir kecamatan muara bangkahulu sebagai penunjang pembelajaran materi pemanasan global di SMPN 11 Kota Bengkulu. *PENDIPA Journal of Science Education*, 2 (1), 93–99. <https://doi.org/10.33369/pendipa.2.1.93-99>
- Syafarini, H., Hendrayana, H., & Winardi, S. (2022). Assessment of Aquifer Systems for The Sustainable Development of Groundwater Use in The Batutua Groundwater Basin. *Earth and Environmental Science*, (1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1039/1/012003>
- Tama, S. K., & Supriyadi. (2015). Struktur Bawah Permukaan Tanah Di Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger. *Unnes Physics Journal*, 4(1), 26–33.
- Tio, F. M., 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>
- Todd, D. K., & W. Mays, L. (2004). Groundwater Hydrology. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_72667
- Wahyuningtyas, A., & Pratomo, R. A. (2015). Identifikasi Potensi Multi-Bencana Kabupaten Landak Kalimantan Barat. *Geoplanning Journal*, 2 (1), 10–21.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**EVALUASI FUNGSI LINGKUNGAN EMBUNG BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFI:
KASUS EMBUNG KRAPYAK DAN TONOGORO DI KULON PROGO,
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

***(Environment Role Evaluation of Retention Basins Using Geographic Information Systems:
Case of Krapyak and Tonogoro in Kulon Progo, Special Region of Yogyakarta)***

Marina Yuliarti¹, Ngadisih^{2*}, M. Pramono Hadi³, Junun Sartohadi⁴, dan M. Anggri
Setiawan⁵

¹*Ilmu Lingkungan Minat Geo-Informasi untuk Manajemen Bencana
Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada,
Jl. Teknika Utara, Sleman, Yogyakarta, 55664*

²*Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Gadjah Mada, Jalan Flora 1, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281*

³*Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, Kompleks Gedung PSLH-EFSD
UGM, Jl. Kuningan, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281*

⁴*Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Flora Bulaksumur, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281*

⁵*Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Kaliurang, Sekip Utara,
Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281*

**Email: ngadisih@ugm.ac.id*

Diterima: 12 Juni 2023, Direvisi : 13 Juli 2023, Disetujui : 2 Oktober 2023

ABSTRACT

Environmentally, retention basins are used for soil and water conservation but some of them experience drought. The location of the retention basin is fundamental in fulfilling environmental functions. The Geographic Information System (GIS) has proven to be more effective for determining the location of the retention basin. This study aimed to apply GIS for evaluating the environmental functions of retention basins in a certain area. Tonogoro and Krapyak retention basins lay on Kulon Progo Regency, Yogyakarta and have been operating since 2011 are the cases of this study. The Krapyak is located at the outlet of catchment area, while the Tonogoro is built on the hilltop. Environmental functions were assessed based on the potential drought and dynamics of carrying capacity due to sedimentation. The materials used were detailed design documents, Google Earth images, DEMNAS images, 1:25,000 scale Indonesian landform maps, rainfall data, and soil type maps. The initial reservoir capacity was calculated based on depth using DEMNAS data. The recent reservoir capacity was measured using a sounding method with a Garmin 520s Echo sounder, Depth Sounder, and Roll meter. All data was integrated in GIS to be presented visually in the form of a reservoir depth profile that reflects the dynamics of the reservoir capacity. The potential of surface runoff volume was calculated using the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) method. This study found that the Tonogoro retention basin experienced a water shortage because the potential volume of runoff water was only able to supply 5% of the reservoir's capacity. The accumulated sediment yield in the Krapyak retention basins was 3,498 m³ or 12.2% of the total capacity of

a sedimentation rate of 699.6 m³ per year. This study demonstrated that GIS could be adopted to evaluate environmental functions of retention basins by correcting the size and volume of reservoirs due to sedimentation and potential drought.

Keywords: *retention basin; erosion; sedimentation; catchment area; geographic information system*

ABSTRAK

Secara lingkungan, embung berfungsi untuk konservasi tanah dan air, namun ada pula yang mengalami kekeringan. Lokasi penempatan embung merupakan hal yang mendasar dalam memenuhi fungsi lingkungan. Sistem Informasi Geografi (SIG) terbukti lebih efektif untuk menentukan lokasi embung. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan SIG untuk mengevaluasi fungsi lingkungan embung pada suatu wilayah. Embung Tonogoro dan Krapyak yang ada di Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta dan beroperasi sejak tahun 2011 menjadi lokasi kasus penelitian. Embung Krapyak terletak pada outlet daerah tangkapan air, sedangkan Tonogoro dibangun di puncak bukit. Penilaian fungsi lingkungan dilihat dari potensi kekeringan dan perubahan kapasitas tampung akibat adanya sedimentasi. Bahan yang digunakan berupa dokumen detail desain embung, *citra Google Earth*, citra DEMNAS, peta rupa bumi Indonesia skala 1:25.000, data curah hujan, dan peta jenis tanah. Kapasitas tampung awal embung dihitung berdasarkan kedalaman menggunakan data DEMNAS. Kapasitas embung akhir diukur dengan metode pemeruman menggunakan *Echo sounder Garmin 520s*, *Depth sounder*, dan *Roll meter*. Seluruh data diintegrasikan dalam SIG untuk disajikan secara visual dalam bentuk profil kedalaman embung yang mencerminkan dinamika daya tampung. Potensi air yang masuk ke dalam embung dihitung dengan menggunakan metode *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN)*. Penelitian ini menemukan bahwa embung Tonogoro mengalami kekurangan air karena potensi volume air larian hanya mampu memenuhi 5% kapasitas tampung. Akumulasi hasil sedimen embung Krapyak adalah 3.498 m³ atau 12,2% dari total kapasitas dengan laju sedimentasi 699,6 m³ per tahun. Penelitian ini membuktikan bahwa SIG dapat digunakan untuk evaluasi fungsi lingkungan melalui koreksi ukuran dan volume embung akibat sedimentasi serta potensi kekeringan.

Kata kunci: *embung; erosi; sedimentasi; daerah tangkapan air; sistem informasi geografi*

I. PENDAHULUAN

Embung merupakan salah satu program prioritas Indonesia, sejumlah 2.722 embung dibangun di seluruh Indonesia dari tahun 2015 hingga 2018 (Floren *et al.*, 2019). Embung difungsikan sebagai konservasi sumber daya air, pemenuhan

kebutuhan air irigasi dan perikanan, sumber air baku, sumber air bagi ternak, serta menjadi salah satu pilihan destinasi wisata lokal (Kementerian PUPR, 2017). Fungsi-fungsi tersebut sebagai pilar keberlanjutan (SDGs) yang mencakup fungsi lingkungan, ekonomi, dan sosial. Embung sebagai destinasi wisata menjadi

cara mengoptimalkan potensi kawasan (Afwillah *et al.*, 2022) yang berada pada fungsi sosial dan ekonomi. Dari kawasan wisata, maka tercipta lapangan kerja dan pertambahan pendapatan (Aedla *et al.*, 2016). Secara lingkungan, embung berfungsi sebagai bangunan untuk memanen air hujan melalui pengendalian aliran permukaan dan sedimen.

Embung dapat memenuhi fungsi lingkungan apabila dibangun pada lokasi yang tepat (Darabi *et al.*, 2021). Umumnya embung dibangun pada lokasi yang dipilih berdasarkan area yang paling tepat (Umugwaneza *et al.*, 2022) yakni di cekungan alur sungai yang dibendung (Kumar & Jhariya, 2017; Mahmood *et al.*, 2020). Embung dapat dibangun di luar alur sungai yang merupakan cekungan alami sebagai tempat akumulasi aliran permukaan (Márquez *et al.*, 2021). Trubus (2017) berpendapat bahwa titik tertinggi (puncak/punggung) bukit dapat digunakan sebagai lokasi embung karena air yang terkumpul bisa mengalir ke titik terjauh tanpa pompa. Secara teknis, pemilihan lokasi-lokasi dengan kriteria tersebut dilakukan dengan survei lapangan. Perkembangan teknologi informasi spasial telah melahirkan Sistem Informasi Geografis (SIG), yang terbukti lebih efektif untuk penetapan lokasi embung (Kumari & Singh, 2021) dibandingkan teknik survei konvensional (Mugo & Odera, 2019).

Embung berfungsi untuk konservasi air namun ratusan embung mengalami kekeringan (Harian Bhirawa Online, 2020) dan sedimentasi yang bermula dari kurang tepatnya pemilihan lokasi. Permasalahan ini terjadi di Kabupaten Kulonprogo

(Detik.com, 2022; Kompas.com, 2009) dan diantaranya terjadi di embung Krapyak dan embung Tonogoro. Wale *et al.* (2022) berpendapat bahwa embung yang sudah dibangun perlu dievaluasi kinerja atau fungsinya. Permasalahan embung Tonogoro dan embung Krapyak memerlukan evaluasi untuk mengoptimalkan fungsi lingkungannya. Demeke *et al.* (2021) menjelaskan bahwa evaluasi embung sangat penting untuk memberikan informasi sebagai dasar pengambilan tindakan dalam pemeliharaan dan pengembangan embung. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan SIG untuk evaluasi fungsi lingkungan embung Krapyak dan Tonogoro. Fungsi lingkungan embung dilihat pada aspek potensi kekeringan embung dan perubahan kapasitas/daya tampung embung akibat sedimentasi.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Pengumpulan dan pengolahan data sekunder yang berupa dokumen detail desain embung, citra, peta, dan data curah hujan dilaksanakan pada bulan Januari hingga Agustus 2022. Selanjutnya dilaksanakan pengukuran kedalaman embung pada bulan September yang merupakan akhir musim kemarau dan awal musim penghujan. Embung Krapyak berlokasi pada bentuk lahan lembah atau cekungan alur sungai yang dibendung sehingga rentan mengalami pendangkalan akibat sedimentasi. Pada sisi lain, embung Tonogoro berlokasi pada bentuk lahan puncak bukit sehingga rentan mengalami kekeringan (Rahmi *et al.*, 2019) karena

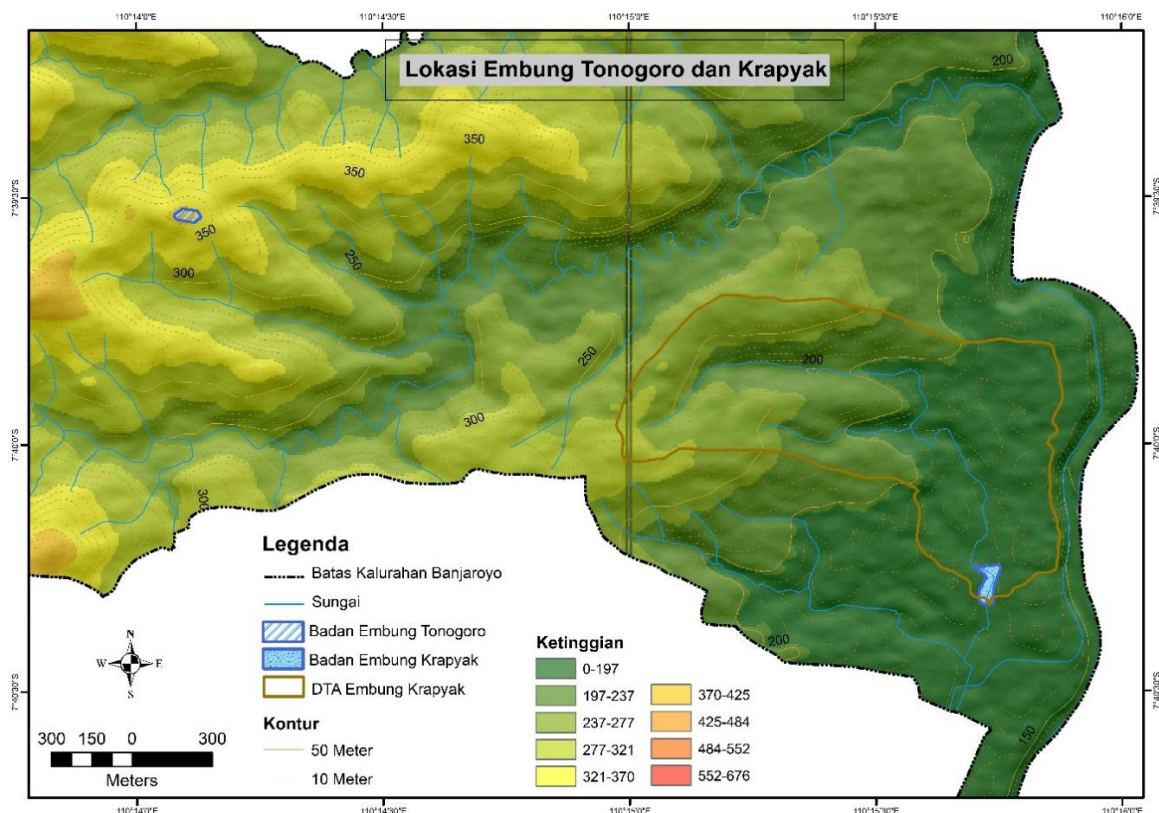
sempitnya luasan daerah tangkapan air. Gambar 1 memberikan ilustrasi lokasi embung yang di-overlaykan dengan DEM (kontur) wilayah.

Secara administrasi, embung Krpyak dan Tonogoro berada di Kelurahan Banjaroyo, Kapanewon Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa (DI) Yogyakarta. Embung Krpyak dibangun pada tahun 2017 oleh Dinas PUP ESDM DIY, volume tampungan 38.022 m³ dan luas 0,63 Ha atau 6.337 m² (PT. AMT Consultants, 2015). Embung Tonogoro

dibangun akhir tahun 2013 sampai awal tahun 2014, memiliki kedalaman 4 m dengan luas sekitar 60 x 80 m². Kapasitas tampung air embung Tonogoro sekitar 8.000 sampai 10.000 m³ air untuk mengairi kebun durian seluas 30 Ha (TaniKU, 2016).

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah olahan data primer hasil survei lapangan dan data sekunder. Beberapa bahan penelitian beserta fungsinya diuraikan dalam Tabel 1, sedangkan alat yang digunakan tersaji pada Tabel 2.



Gambar (Figure) 1. Lokasi embung Krapsjyak dan Tonogoro (*Location of embung Krpyak and Tonogoro*)
Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2022

Tabel (Table) 1. Daftar bahan penelitian (*List of research materials*)

Nama Bahan	Sumber Data	Fungsi Bahan
1. Laporan Akhir Detail Desain Embung Krapyak	Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan, dan Kawasan Permukiman Kab. Kulon Progo	a. Interpretasi lokasi b. Zonasi Kawasan embung c. Konsep elemen lanskap embung d. Kapasitas volume embung
2. DEMNAS	BIG Indonesia, https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/	a. Delineasi daerah tangkapan air (DTA) b. Pengukuran variabel ketersediaan air c. Penentuan lokasi konservasi
3. Peta RBI	BIG Indonesia, https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/	a. Delineasi batas wilayah administrasi b. Plotting sungai dan jalan
4. Citra satelit (<i>google maps satellite</i>)	SAS Planet	a. Interpretasi kawasan embung dan DTA b. Delineasi penggunaan dan penutup lahan
5. Data curah hujan	PPID Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Serayu Opak	Pengolahan data volume air DTA
6. Peta jenis tanah	BPBD DIY https://ppid.jogjapro.go.id	

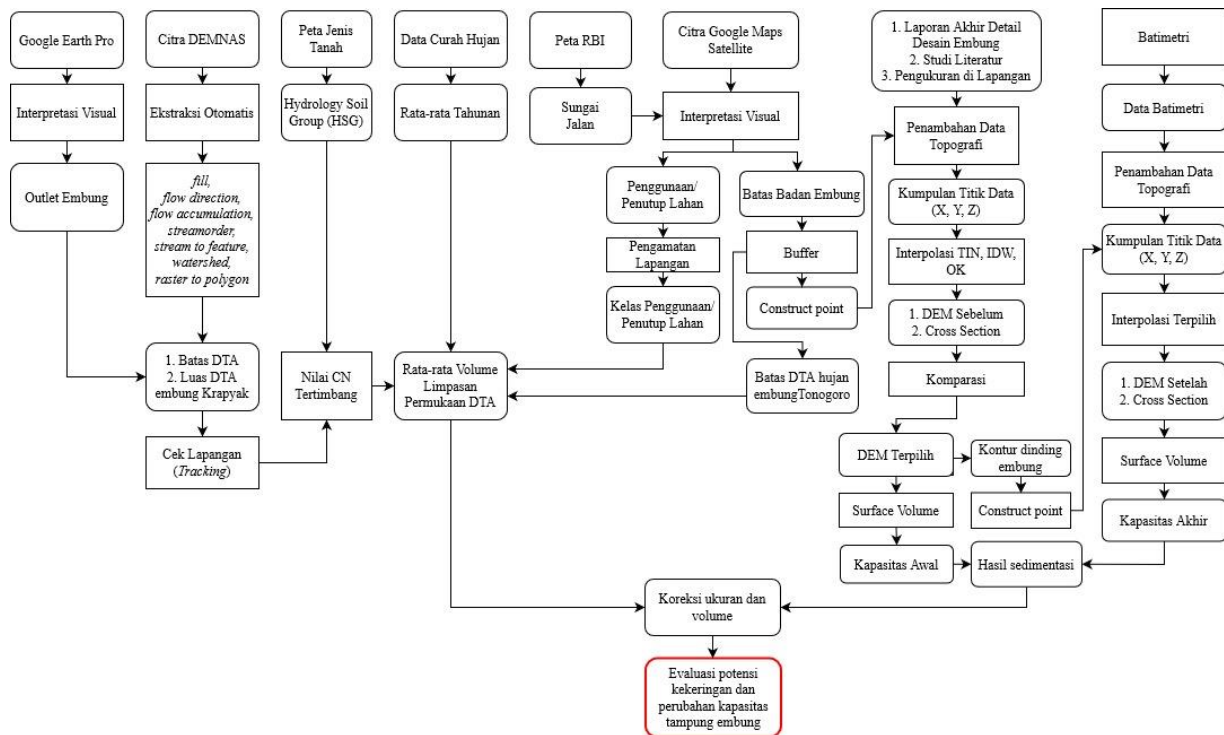
Tabel (Table) 2. Daftar alat penelitian (*List of research tools*)

Nama Alat	Fungsi
1. Laptop	Memproses keseluruhan data untuk menghasilkan laporan
2. <i>Software</i> ArcGIS	Pengolahan data citra satelit, analisis GIS dan penyajian peta
3. <i>Software</i> Microsoft office dan excel 365	Mengolah data, menulis dan menyusun laporan
4. <i>Software</i> Google Earth Pro	Interpretasi titik koordinat outlet embung
5. <i>Software</i> SAS Planet	Mengunduh citra <i>google maps satellite</i>
6. <i>Software</i> Avenza Maps	Menentukan posisi dan validasi survey lapangan
7. <i>Echo sounder</i> Garmin 520s	Pengukuran kedalaman air embung
8. <i>Depth Sounder</i>	
9. <i>Roll meter</i>	
10. Aplikasi GPS maps camera	Mendokumentasikan pengukuran dan survei lapangan
11. Perahu dan kelengkapannya	Transportasi pengukuran kedalaman air embung
12. Alat tulis	Mencatat hasil temuan di lapangan

C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan keruangan/spasial dengan SIG untuk evaluasi potensi kekeringan dan kapasitas embung. Pengukuran tingkat kerentanan kekeringan pada tubuh embung dengan menghitung volume limpasan permukaan daerah tangkapan air (DTA) menggunakan metode SCS CN dibandingkan dengan kapasitas tampung embung. Sedangkan tingkat kerentanan sedimentasi berdasarkan perubahan kapasitas tampung menggunakan studi akumulasi sedimen.

Pengukuran kapasitas tampung awal embung menggunakan metode perhitungan volume DEM (*Digital Elevation Model*) badan embung dan hasil interpolasi kumpulan titik data topografi (X, Y, Z). Kapasitas akhir embung diukur menggunakan metode *bathymetry* (pemeruman) dan penambahan data topografi. Selisih perubahan volume DEM menghasilkan jumlah hasil sedimen. Pada saat pengukuran di lapangan, area embung yang ditutupi oleh eceng gondok yang sangat rapat tidak dapat dilakukan



Gambar (Figure) 2. Diagram alir penelitian (Flow chart of the study)

pemeruman menggunakan *echosounder* maupun *depth finder*, sehingga digunakan pengukuran menggunakan *roll meter* pada pinggiran badan embung.

Gambar 2 memberikan ilustrasi tahapan penelitian yang mencakup: 1) identifikasi dan interpretasi DTA dan badan embung, 2) perhitungan volume air larian, dan 3) perhitungan perubahan kapasitas embung akibat sedimentasi.

Perhitungan Volume Air Larian

Hasil interpretasi outlet dan ekstraksi otomatis DTA embung digunakan untuk menghitung potensi volume air larian. Perkiraan volume air larian (m^3) menggunakan Persamaan 1 (Kumar & Jhariya, 2017).

$$Q_v = \frac{Q \cdot A}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

Q_v = Potensi volume air larian (m^3)

Q = Tebal air larian (m)

A = Luas tangkapan air/DTA (m^2)

Penentuan tebal air larian mengadopsi metode SCS CN, yang menggunakan data intensitas curah hujan (I) dan perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan (S) dengan Persamaan 2 (Márquez *et al.*, 2021). Jika curah hujan (P) lebih kecil atau sama dengan *initial abstraction* (I) maka kedalaman limpasan permukaan (Q) sama dengan 0 (nol) dengan Persamaan 3 (Asmar *et al.*, 2021; Ezenwa *et al.*, 2022).

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} \dots\dots\dots (2)$$

$$I = 0,2 \text{ S} \dots\dots\dots (3)$$

Meningkatnya potensi retensi maksimum (S) menunjukkan bahwa besarnya air larian berkurang. Penentuan

besarnya infiltrasi menggunakan bilangan kurva air larian (CN) dengan Persamaan 4 (Kolekar *et al.*, 2021; Márquez *et al.*, 2021).

$$S = \left(\frac{25.400}{CN} \right) - 254 \dots\dots\dots (4)$$

Limpasan langsung pada badan kolam dihitung dengan CN 98, yakni dengan *geomembrane* kedap air yang digunakan untuk kolam/badan embung. Sedangkan limpasan langsung dari DTA dengan CN yang sesuai dengan penutup lahan dan jenis tanah (Márquez *et al.*, 2021).

Pengukuran Perubahan Kapasitas Embung

Area badan embung sebagai dasar untuk membuat kumpulan titik koordinat bentuk badan embung menggunakan fitur *construct point* ArcGIS dengan jarak 1 (satu) meter. Kumpulan titik koordinat ditambahkan data topografi berdasarkan data elevasi embung dari laporan akhir detail desain embung Krapyak, serta hasil pengukuran dan studi literatur untuk embung Tonogoro. Kumpulan titik data (X, Y, Z) dilakukan interpolasi untuk membuat DEM. Interpolasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Triangulation Irregular Network* (TIN) (Ibrahim *et al.*, 2022), *Ordinary Kriging* (Thanh *et al.*, 2020), dan *Inverse Distance Weighting* (IDW) (Marques *et al.*, 2021).

Kapasitas akhir embung Tonogoro dan Krapyak diperoleh dari perhitungan volume DEM hasil interpolasi terpilih. Kumpulan titik data (X, Y, Z) diperoleh berdasarkan data kedalaman dasar embung hasil pemeruman yang diolah menjadi data topografi. Selain data kedalaman dasar embung, kumpulan titik data untuk kapasitas awal embung juga

digunakan untuk batas dan bentuk dinding embung. Volume tampungan awal embung dikurangi dengan volume tampungan akhir embung untuk mengetahui volume endapan sedimen. Perbandingan volume endapan sedimen digunakan untuk mengetahui kerentanan embung terhadap sedimentasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deliniasi DTA dan Badan Embung Dengan SIG

Pengolahan data DEMNAS menghasilkan batas DTA (*catchment area*) dalam format *raster* resolusi 8 m yang dikonversi menjadi data *vector*. Hasil perhitungan luas DTA embung Krapyak adalah 121,4 Ha dan embung Tonogoro seluas 0,36 Ha. DTA Tonogoro berbeda dengan DTA embung Krapyak, karena embung Tonogoro dibangun di atas igir/puncak bukit sehingga tidak memiliki kawasan tangkapan air dan tidak memiliki sumber air larian, hanya komponen air hujan saja yang masuk ke tubuh embung. Berdasarkan interpretasi *citra google maps satellite*, penggunaan lahan di DTA embung Krapyak antara lain hutan (75,05%), pertanian (15,65%), bangunan (6,12%), jalan (2,52%), dan badan air (0,66%).

Potensi Air Larian

Berdasarkan peta jenis tanah yang dikeluarkan oleh BPBD DIY, embung Krapyak dan Tonogoro berada pada tanah jenis Latosol. Berdasarkan tekstur tanah dan sifat hidrologinya, Latosol termasuk pada *hydrology soil group* (HSG) tipe B (Dharma *et al.*, 2021). Tipe HSG ini digunakan untuk menentukan nilai bilangan kurva limpasan permukaan (CN).

Penggunaan lahan digunakan untuk menentukan nilai CN dan CN tertimbang (Tabel 3). Penggunaan lahan DTA embung Tonogoro hanya 1 (satu) kelas yaitu geomembrane dengan nilai CN II = 98, CN I = 97, dan CN III = 99.

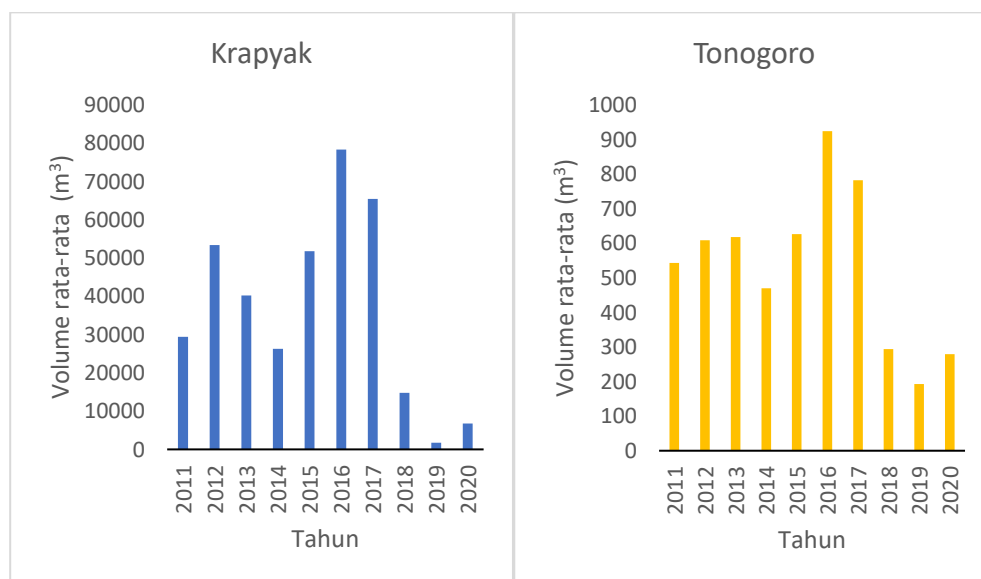
Berdasarkan data curah hujan 2011 hingga 2020, hujan tahunan tertinggi 3.890 mm terjadi pada tahun 2016 dengan rata-rata curah hujan 324 mm per bulan. Sedangkan nilai hujan tahunan terendah 1.014 mm terjadi pada tahun 2019 dengan nilai rata-rata curah hujan 85 mm per bulan. Secara umum, penurunan jumlah curah hujan dan kemarau panjang tahun

2019 di Indonesia turut dipicu oleh fenomena El Nino (Yuniasih *et al.*, 2023). Dari data hujan, maka volume tahunan rata-rata air larian tertinggi masing-masing embung yaitu pada tahun 2016 dan terendah pada tahun 2019 yang tersaji pada Gambar 3. DTA embung Krapyak berada pada pegunungan Menoreh dan merupakan bagian tengah DAS Progo (Paimin *et al.*, 2012). Penggunaan lahan pertanian di DTA embung Krapyak memiliki kerentanan terhadap erosi, sehingga tubuh embung berpotensi mengalami pendangkalan akibat sedimentasi.

Tabel (Table) 3. Persentase kelas penggunaan daerah tangkapan air embung Krapyak (*Percentage of area based on land use and value of CN*)

Kelas	Total luas (Ha)	% Area	Nilai CN	Nilai CN tertimbang
Pertanian	16,57	15,65	79	12,36
Bangunan	6,48	6,12	86	5,26
Jalan	2,67	2,52	89	2,24
Hutan	79,49	75,05	72	54,04
Badan Air	0,71	0,67	100	0,67
Total area	105,92	100		74,57

Sumber (Source): Hasil pengolahan data (*Data analysis*) (2022)



Gambar (Figure) 3. Potensi volume air larian tahunan DTA embung Krapyak dan Tonogoro (*Potential surface runoff volume at Krapyak and Tonogoro retention basins*)

Sumber (Source): Hasil pengolahan data (*Data analysis*) (2022)

Perkiraan Kapasitas Tampung Air Embung

Tinggi badan embung Krapyak adalah 6,94 m dari dasar hingga ke puncak embung. Penampang embung hasil *cross-section* DEM tersaji pada Gambar 4.

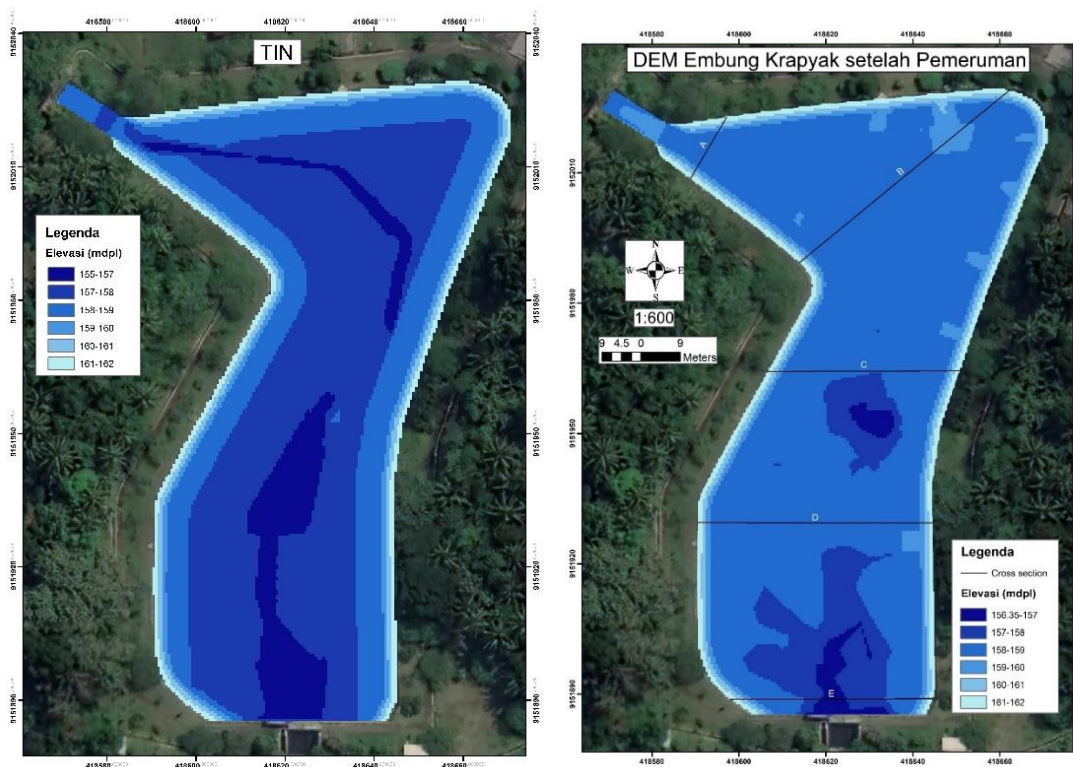
Hasil perhitungan area badan embung berdasarkan hasil *digitasi on screen* berupa data *vector* seluas 7.838 m². Hasil

perhitungan berbeda dengan selisih lebih besar dibandingkan luas berdasarkan laporan akhir detail desain embung. Luas hasil pengolahan data *vector* juga berbeda dengan luas dari data *raster* berupa DEM. Perbandingan antara hasil pengolahan data dengan studi literatur berupa laporan akhir detail desain embung disajikan pada Tabel 4.

Tabel (Table) 4. Perbandingan dimensi embung Krapyak hasil pengolahan data dan literatur (*Comparison of dimension of Krapyak Retention Basin based on literature and measurement*)

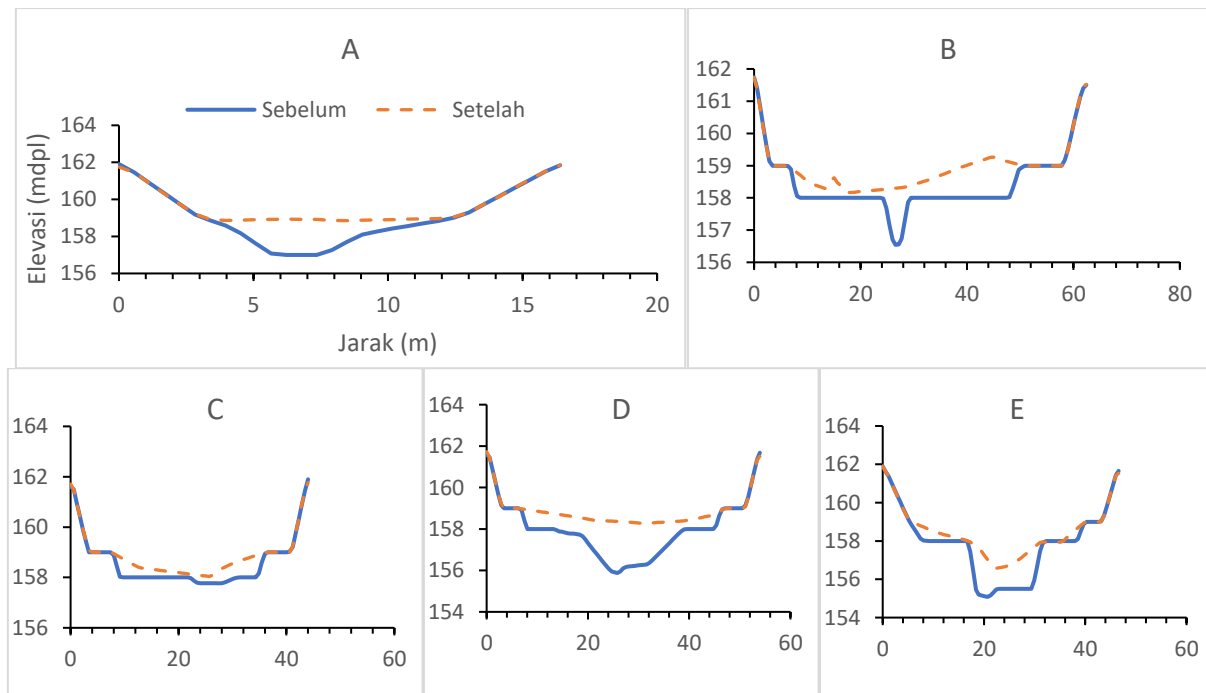
Hasil	TMA (mdpl)	Luas (<i>Vector</i>) (m ²)	Luas (<i>Raster</i>) (m ²)	Volume (m ³)
Studi Literatur	161	6.337	-	38.022
Pengolahan Data	161	7.838	7.438	21.128
Selisih		1.501		16.894
Pengolahan Data	162		7.671	28.728

Sumber (*Source*): Hasil pengolahan data (*Data analysis*) (2022)



Gambar (Figure) 4. DEM hasil interpolasi TIN embung Krapyak sebelum dan setelah pemeruman (*DEM result of TIN interpolation of embung Krapyak before and after sounding*)

Sumber (*Source*): Analisis data (*Data analysis*), 2022



Gambar (Figure) 5. Cross-section embung Krapyak (Cross-section of the Krapyak Retention Basins)

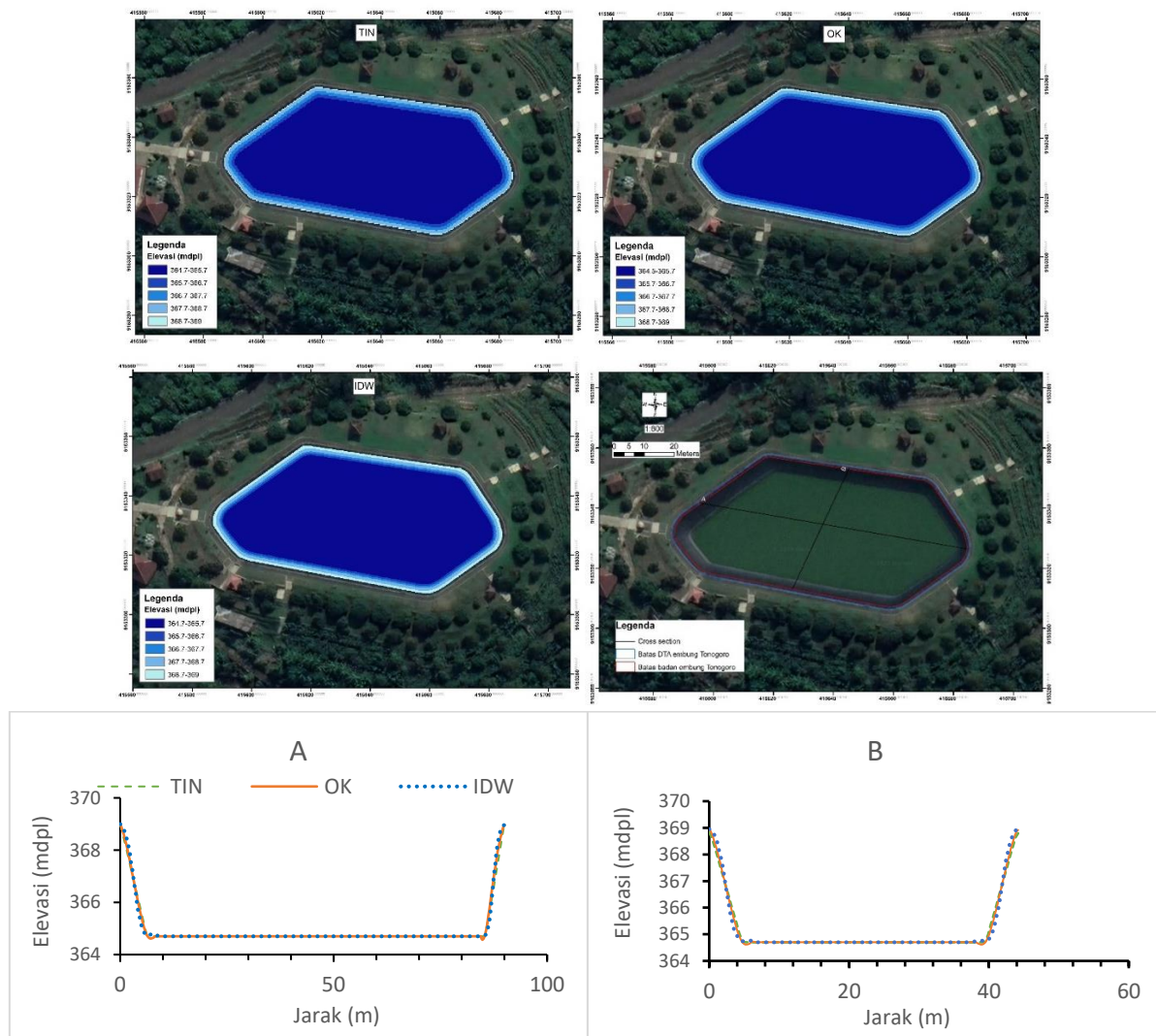
Kapasitas tampungan embung Tonogoro dihitung dari luas embung hasil digitasi *on screen* dan perhitungan dengan fitur buffer sejauh 77 cm. Area buffer diubah menjadi garis menggunakan fitur *polygon to line*. Garis bagian dalam dipilih untuk diolah menjadi area (*convert polylines to polygon*) sehingga didapatkan badan embung seluas 3.397 m² atau 3,3 Ha (Tabel 5). Luas ini berbeda dengan selisih 1.403 m² dibandingkan hasil studi literatur. Penampang embung Tonogoro hasil *cross-section* DEM tersaji pada Gambar 6.

Pengolahan data DEM menghasilkan titik terendah 364,7 mdpl dan titik tertinggi 369 mdpl (Gambar 6). Tinggi badan embung Tonogoro adalah 4,3 m dari dasar hingga batas badan embung. Tinggi embung hasil pengolahan data 4 m sama dengan tiang ukur kedalaman air embung ditambah tinggi *spillway* 0,3 m. Volume tampungan embung 11.430 m³ berdasarkan TMA maksimum yang berada pada ketinggian 368,7 mdpl. Volume embung hasil pengolahan data lebih besar 1.430 m³ s.d 3.430 m³ dibandingkan volume berdasarkan hasil studi literatur.

Tabel (Table) 5. Perbandingan dimensi embung Tonogoro hasil perhitungan dan studi literatur (Comparison of dimension of Tonogoro Retention Basins based on literature and measurement)

Hasil	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Volume (m ³)
Studi Literatur	80	60	4.800	8.000-10.000
Pengolahan Data	90	44	3.397	11.430
Selisih	10	16	1.403	1.430-3.430

Sumber (Source): Hasil pengolahan data (Data analysis) (2022)



Gambar (Figure) 6. DEM dan cross-section embung Tonogoro (DEM and cross-section of embung Tonogoro)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022

Perbandingan Volume Air Larian terhadap Kapasitas Embung

Memperkirakan air larian merupakan langkah paling penting dalam mengelola sumberdaya air (Khazr *et al.*, 2022). Volume rata-rata bulanan air larian pada tahun 2016 merupakan yang tertinggi yaitu 90.153 m³ (embung Krapyak) dan 924 m³ (embung Tonogoro). Sedangkan volume terendah terjadi pada tahun 2019 yaitu 2.001 m³ (embung Krapyak) dan 193 m³ (embung Tonogoro). Volume rata-rata tahun 2011 - 2020 DTA adalah 42.372 m³ (embung Krapyak) dan 534 m³ (embung

Tonogoro). Perbandingan volume rata-rata DTA terhadap kapasitas masing-masing embung berdasarkan hasil pengolahan DEM sebelum pemeruman disajikan pada Gambar 7.

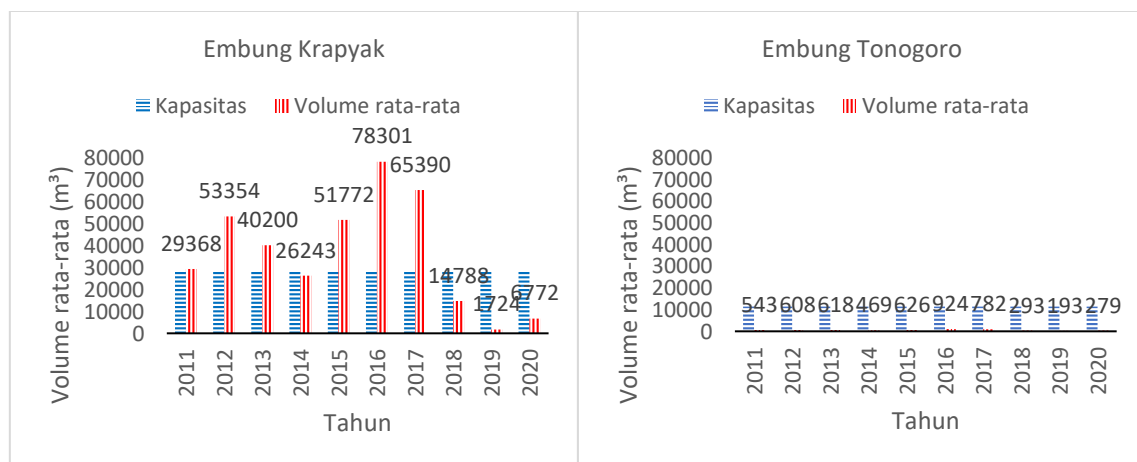
Limpasan permukaan dapat dikenali dengan volume rata-rata air larian DTA. Trivedi *et al.* (2022) menyatakan bahwa air larian meningkat seiring dengan peningkatan curah hujan. Volume limpasan permukaan DTA embung Krapyak mampu memenuhi kapasitas tampung air embung. Secara spasial, embung Krapyak berada di lokasi yang sesuai karena berada di aliran

sungai. Rata-rata volume limpasan permukaan embung Tonogoro hanya mampu memenuhi 5% dari kapasitas tampung embung. Embung Tonogoro kekurangan air disebabkan ketiadaan daerah tangkapan air karena dibangun di atas puncak bukit/igir. Selain itu, ukuran dan lokasi embung yang sesuai salah satunya tergantung pada potensi limpasan (Kumar *et al.*, 2016). Dapat dikatakan bahwa ukuran embung Tonogoro kurang sesuai dengan potensi pemanenan air hujan.

Aliran air sungai Waru merupakan sumber air embung Krapyak (PT. AMT Consultants, 2015). DTA embung Krapyak berada di bagian hulu sungai Waru. Konsekuensi embung di bagian hulu (*upstream*) diantaranya kehilangan kapasitas dan pengaruh pada *inlet* dan *outlet* embung (Fan & Morris 1998 dalam Kodoatie & Sjarief, 2010). Aliran sungai pada DTA embung Krapyak berdasarkan hasil survey lapangan telah ditutupi oleh eceng gondok. Sumber air embung yang berasal dari aliran air sungai umumnya mengalir membawa air dan sedimen (Kodoatie & Sjarief, 2010). Perbandingan

hasil *cross-section* embung Krapyak sebelum dan setelah pemeruman menunjukkan perbedaan yang paling signifikan di sekitar *inlet* dan *outlet* embung.

Selisih volume maksimal tampungan badan embung Krapyak sebelum dan setelah pengukuran adalah 3.484 m³. Keunggulan embung yang berada di puncak bukit/igir yaitu tidak ada sedimentasi namun kelemahannya tidak mampu memanen air. Sedangkan embung yang dibangun pada spasial yang benar pasti punya masalah sedimentasi dan ketidakmampuan menangkap semua limpasan permukaan. Sedimentasi merupakan salah satu kendala yang mempengaruhi keberlanjutan embung (Demeke *et al.*, 2021). Sedimentasi dapat dikurangi melalui pemeliharaan rutin dan manajemen risiko yang tepat (Panhwar *et al.*, 2021). Sumber sedimentasi embung Krapyak berasal dari DTA embung Krapyak yang mengalami erosi. Penyebab pendangkalan embung berupa hasil sedimen dan alga serta eceng gondok pada embung Krapyak dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar (Figure) 7. Rata-rata volume air larian DTA terhadap kapasitas embung (*The average volume of DTA runoff water against the capacity of embung*)

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2022



Gambar (Figure) 8. Penyebab pendangkalan embung (a) hasil sedimen (b) alga dan eceng gondok (*Causes of siltation of embung (a) results of sediment (b) algae and water hyacinth*)
Sumber (source): Koleksi pribadi (Private collection), 2022

Solusi Optimalisasi Fungsi Embung Tonogoro

Pengoptimalan fungsi embung Tonogoro untuk mengurangi kerentanan terhadap kekeringan. Langkah yang dilakukan dalam pengelolaan (meminimalkan) kekeringan yaitu dengan mengurangi kebutuhan air atau meningkatkan ketersediaan air (Drisy & Sathish Kumar, 2022). Pengoptimalan

melalui peningkatan ketersediaan air dapat dilakukan dengan memperluas DTA dan menyesuaikan kemiringan jalan setapak embung Tonogoro. Hasil perhitungan penambahan luas DTA embung Tonogoro dari jalan setapak adalah 465,75 m² dan total dari 5 (lima) atap gazebo berbentuk limas seluas 100 m² seperti tersaji pada Gambar 9.



Gambar (Figure) 9. Potensi DTA untuk pemanenan air hujan embung Tonogoro (*Potential of DTA for rainwater harvesting of embung Tonogoro*)
Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022

IV. KESIMPULAN

Rata-rata volume air larian embung Tonogoro tahun 2011 - 2020 adalah 534 m³ dan kapasitas tampung embung Tonogoro adalah 11.430 m³. Volume air larian hanya mampu memenuhi 5% kapasitas tampung. Potensi peningkatan luas DTA hujan embung Tonogoro adalah 565,75 m², sehingga total luas DTA menjadi 4.144,75 m². Kapasitas tampung (awal) embung Krapyak adalah 28.728 m³ dan kapasitas akhir embung setelah terjadi sedimentasi adalah 25.230 m³. Akumulasi hasil sedimen embung Krapyak adalah 3.498 m³ atau sebesar 12,2% dari total kapasitas dengan laju sedimentasi 699,6 m³ per tahun. Penelitian ini membuktikan bahwa SIG dapat digunakan untuk evaluasi fungsi lingkungan melalui koreksi ukuran dan volume embung akibat sedimentasi serta potensi kekeringan.

Keterbatasan penelitian ini diantaranya perhitungan volume limpasan permukaan hanya sampai dengan tahun 2020 dan tidak menggunakan kala ulang, perhitungan sedimentasi hanya sampai kondisi eksisting dan belum menghitung usia guna embung yang tersisa untuk jangka panjang, serta tidak memperhitungkan volume yang berasal dari mata air. Penelitian lebih lanjut tentang bentuk konservasi tanah dan air pada DTA embung yang dapat mengurangi sedimentasi dan eutrofikasi, valuasi hasil sedimen dan eutrofikasi, korelasi status kepemilikan embung dengan tingkat kerentanan terhadap bencana lingkungan, serta integrasi dalam perencanaan dan pengelolaan embung direkomendasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSLH) Universitas Gadjah Mada (UGM) yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah penelitian, dan Pusat Pembinaan, Pendidikan, dan Pelatihan (Pusbindiklatren) Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) Republik Indonesia yang telah membiayai studi magister penulis. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dinas PUPKP Kab. Kulon Progo, Lurah Banjaroyo, Ketua Kelompok Tani Sido Maju Banjaroyo, Ketua Paguyuban Pantog Wetan dan Banjaran, dan seluruh pihak terkait atas bantuan dan dukungannya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnowo, H. (2020). Pengamanan Situ, Danau, Embung dan Waduk Sebagai Kekayaan Negara Melalui Pendaftaran Tanah. *Jurnal Inovasi Aparatur*, 2(2), 203–216.
- Asmar, N. F., Sim, J. O. L., Ghodieh, A., & Fauzi, R. (2021). Effect of Land Use\Land Cover Changes on Estimated Potential Runoff in the Nablus Mountains Watersheds of Palestine: A Case Study. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(5), 1067–1080. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01278-2>
- Darabi, H., Moradi, E., Davudirad, A. A., Ehteram, M., Cerda, A., & Haghighi, A. T. (2021). Efficient rainwater harvesting planning using socio-

- environmental variables and data-driven geospatial techniques. *Journal of Cleaner Production*, 311(May), 127706.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127706>
- de Sá Silva, A. C. R., Bimbato, A. M., Balestieri, J. A. P., & Vilanova, M. R. N. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76(March 2021).
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>
- Demeke, G. G., Andualem, T. G., & Kassa, M. (2021). Evaluation of the sustainability of existing rainwater harvesting ponds: A case study of Lay Gayint District, South Gondar zone, Ethiopia. *Heliyon*, 7(7), e07647.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07647>
- Dharma, I. G. A., Waspodo, R. S. B., & Pandjaitan, N. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Debit Sungai (Studi Kasus : Sub DAS Cikeas). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 121–132.
<https://doi.org/10.29244/jsil.6.2.121-132>
- Drisya, J., & Sathish Kumar, D. (2022). Evaluation of the drought management measures in a semi-arid agricultural watershed. *Environment, Development and Sustainability*, 0123456789.
<https://doi.org/10.1007/s10668-021-02079-4>
- Ezenwa, K. O., Iguisi, E. O., Yusuf, Y. O., & Isma'il, M. (2022). Application of GIS-based SCS-CN method for Runoff Estimation in the Kubanni Drainage Basin, Zaria, Nigeria. *Journal of Geospatial Science and Technology*, 3(1), 1–12.
<https://doi.org/10.54222/afrigist/jgst/v3i1.1>
- Floren, Kaming, P. F., & Ervianto, W. I. (2019). Model Pemeliharaan Infrastruktur Embung Berbasis Biaya Siklus Hidup Di Kabupaten Sleman DIY. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 3(0), 13–23.
<https://doi.org/10.12962/j26151847.v3i0.5730>
- Harian Bhirawa Online. (2020). *Ratusan Embung di Kabupaten Bojonegoro Mengalami Kekeringan*.
<https://www.harianbhirawa.co.id/ratusan-embung-di-kabupaten-bojonegoro-mengalami-kekeringan/>
- Ibrahim, P. O., Sternberg, H., Samaila-Ija, H. A., Adgidzi, D., & Nwadiolor, I. J. (2022). Modelling topo-bathymetric surface using a triangulation irregular network (TIN) of Tunga Dam in Nigeria. *Applied Geomatics*, 0123456789.
<https://doi.org/10.1007/s12518-022-00438-y>
- Peraturan Menteri PUPR No. 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 1 (2022).
- Khazr, B. O., Ibrahim, G. R. F., Hamid, A. A., & Ail, S. A. (2022). Runoff estimation using SCS-CN and GIS techniques in the Sulaymaniyah sub-basin of the Kurdistan region of Iraq. *Environment, Development and Sustainability*, 24(2), 2640–2655.
<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01549-z>
- Kodoatie, R. J., & Sjarief, R. (2010). *Tata Ruang Air* (I). Penerbit Andi.
- Kolekar, S. S., Mishra, A., Choudhari, P., & Choudhari, N. R. (2021). Identification

- of specific areas for water conservation measures using Geoinformatics approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06721-3>
- Kumar, S., Ramilan, T., Ramarao, C. A., Rao, C. S., & Whitbread, A. (2016). Farm level rainwater harvesting across different agro climatic regions of India: Assessing performance and its determinants. *Agricultural Water Management*, 176, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.013>
- Kumar, T., & Jhariya, D. C. (2017). Identification of rainwater harvesting sites using SCS-CN methodology, remote sensing and Geographical Information System techniques. *Geocarto International*, 32(12), 1367–1388. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1213772>
- Laukli, K., Gamborg, M., Haraldsen, T. K., & Vike, E. (2022). Soil and plant selection for rain gardens along streets and roads in cold climates: Simulated cyclic flooding and real-scale studies of five herbaceous perennial species. *Urban Forestry and Urban Greening*, 68, 127477. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127477>
- Luu, T. T., & Hien, N. T. T. (2022). Rooftop rainwater harvesting and artificial groundwater recharge - a case study: Thanh Xuan district in south of Hanoi. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17081>
- Mahmood, K., Qaiser, A., Farooq, S., & Nisa, M. un. (2020). RS- and GIS-based modeling for optimum site selection in rain water harvesting system: an SCS-CN approach. *Acta Geophysica*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11600-020-00460-x>
- Marques, G. M., Pessi, D. D., Haupenthal, M. R., Rodrigues, M. G., Rodrigues, É. S., Nascimento, L. N., Cano, É. V., Corrêa, K. S., & Filho, A. C. P. (2021). Water reservoir volume estimation with free software through data obtained with remotely-operated ships | Estimativa de volume de reservatório de água com software livre através de dados obtidos com embarcação remotamente pilotada. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(7), 3804–3813. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p3804-3813>
- Márquez, J. D., Peña, L. E., Barrios, M., & Leal, J. (2021). Detection of rainwater harvesting ponds by matching terrain attributes with hydrologic response. *Journal of Cleaner Production*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126520>
- Mugo, G. M., & Odera, P. A. (2019). Site selection for rainwater harvesting structures in Kiambu County-Kenya. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.003>
- Panhwar, V., Zaidi, A., Ullah, A., & Edgar, T. N. (2021). Impact of water sector interventions on economy , equity , and environment in the rainfed region of Punjab , Pakistan. *Environment, Development and Sustainability*, 23(2), 2190–2203. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00669-2>
- Peraturan Bupati Kulon Progo Nomor 31 Tahun 2022 Tentang Standar Harga Satuan Barang dan Jasa Tahun Anggaran 2023, Pub. L. No. 31 Tahun

- 2022.
- PT. AMT Consultants. (2015). *Laporan Akhir Detail Desain Embung Kecamatan Kalibawang, Kulon Progo*.
- Rachmayanie, A. A., Sari, S. R., & Rizani, M. D. (2021). Optimalisasi Pemanfaatan Kolam Retensi sebagai Elemen Lanskap Berkelanjutan pada Kawasan Pendidikan Perkotaan. *RUANG-SPACE, Jurnal Lingkungan Binaan (Space : Journal of the Built Environment)*, 8(2), 151.
<https://doi.org/10.24843/jrs.2021.v08.i02.p06>
- Rahmi, M., Setiawan, M. A., & Mardiatno, D. (2019). Analisis Kekeringan Berdasarkan Bentuklahan Di Das Bompon. *Media Komunikasi Geografi*, 20(2), 90.
<https://doi.org/10.23887/mkg.v20i2.18399>
- Saadi, Y. (2013). Post-construction problems of embung in lombok island and the operation and maintenance works. *Procedia Engineering*, 54, 648–660.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.059>
- TaniKU. (2016). *Info Agrowisata*. <http://taniku.kulonprogokab.go.id/agrowisata/detail/2>
- Thanh, V. Q., Roelvink, D., van der Wegen, M., Tu, L. X., Reyns, J., & Linh, V. T. P. (2020). Spatial Topographic Interpolation for Meandering Channels. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 146(5), 1–11.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)ww.1943-5460.0000582](https://doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000582)
- Trivedi, A., Awasthi, M. K., & Singh, M. (2022). Application of RS and GIS for Determination of Various Criteria Causing Drying of Kanari River System. In P. Kumar, G. K. Nigam, M. K. Sinha, & A. Singh (Eds.), *Water Resources Management and Sustainability* (pp. 305–332). Springer Nature.
- Trubus, R. (2017). *Menabung Air Dalam Embung* (R. Trubus (ed.)). Trubus Swadaya.
- Umugwaneza, A., Chen, X., Liu, T., Mind'je, R., Uwineza, A., Kayumba, P. M., Uwamahoro, S., Umuhiza, J., Gasirabo, A., & Maniraho, A. P. (2022). Integrating a GIS-based approach and a SWAT model to identify potential suitable sites for rainwater harvesting in Rwanda. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 00(0), 1–18.
<https://doi.org/10.2166/aqua.2022.111>
- Wale, A., Abera, M., & Beza, G. (2022). Performance evaluation of technical aspects of ex-situ rainwater harvesting systems at Wag-Lasta, Northern, Ethiopia. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 10(1), 39–51.
<https://doi.org/10.1080/23249676.2021.1919572>
- Wulandari, A., & Cahyono, B. K. (2020). Estimasi Volume Sedimentasi Waduk Sermo Menggunakan Metode RUSLE, Batimetri dan Angkutan Sedimen. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(1), 39.
<https://doi.org/10.22146/jgise.53719>
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., Agung, D., & Wardana, S. (2023). *Anomali Iklim El Nino dan La Nina di Indonesia pada 2013-2022*. 6(2), 136–143.

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERENCANAAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN AIR DI NUSA PENIDA

(Rainwater Harvesting System Planning to Meet Water Needs in Nusa Penida)

Tri Hayatining Pamungkas^{1*}, Mawiti Infantri Yekti², dan I Gede Adi Alit Putra¹

¹Universitas Ngurah Rai, Denpasar - Bali

²Universitas Udayana, Badung - Bali

*Email: tri.hayatining@unr.ac.id

Diterima: 5 Juli 2023, Direvisi : 17 September 2023, Disetujui : 20 September 2023

ABSTRACT

Nusa Penida is one of several tourism areas used as a mainstay by Bali Province in accommodating tourists who want to vacation in Bali. One component to support tourism is water or water availability capacity. The lack of water resources that can be utilized, especially on two islands in Nusa Penida, namely Nusa Ceningan Island and Nusa Lembongan, requires looking for alternative water sources, one of which is rainwater sources. One method of utilizing rainwater is harvesting rainwater (PAH) using the roof of the building. The most decisive components in this technique are the roof of the building and the volume of the reservoir. The analysis showed that from the existing data, the water demand on Nusa Ceningan and Nusa Lembongan Islands during the dry six months was 48,405.5 liters per year. This water requirement can be met by using rainwater harvesting, which uses a roof area of 68.54 m², and the harvested water is accommodated with a reservoir with a capacity of 48.41 m³.

Keywords: *rainwater harvesting system; Nusa Penida; water requirements*

ABSTRAK

Nusa Penida adalah salah satu dari beberapa daerah pariwisata yang dijadikan andalan oleh Provinsi Bali dalam menampung wisatawan yang ingin berlibur di Bali. Salah satu komponen untuk mendukung pariwisata adalah daya dukung air atau ketersediaan air. Minimnya sumber daya air yang dapat dimanfaatkan khususnya di dua Pulau di Nusa Penida yaitu Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan mengharuskan untuk mencari sumber air alternatif yang salah satunya adalah sumber air hujan. Metode pemanfaatan air hujan salah satunya adalah teknik pemanenan air hujan (PAH) menggunakan atap bangunan. Komponen yang paling menentukan dalam teknik ini adalah atap bangunan dan volume bak penampung. Hasil analisis menunjukkan dari data yang ada didapatkan jumlah kebutuhan air di Pulau Nusa

Ceningan dan Nusa Lembongan selama 6 bulan kering sebanyak 48.405,5 liter/tahun. Kebutuhan air ini dapat dipenuhi dengan menggunakan pemanenan air hujan yang menggunakan luas atap sebesar sebesar 68,54 m² dan air hasil panen ditampung dengan bak penampung yang memiliki kapasitas 48,41m³.

Kata kunci: sistem pemanenan air hujan; Nusa Penida; kebutuhan air

I. PENDAHULUAN

Nusa Penida adalah salah satu dari beberapa daerah pariwisata yang dijadikan andalan oleh Provinsi Bali dalam menampung wisatawan yang ingin berlibur di Bali, baik dari mancanegara maupun wisatawan dalam negeri. Hal ini dapat dilihat secara nyata dengan semakin pesatnya perkembangan prasarana dan sarana pendukung pariwisata seperti pembangunan restoran, hotel, vila dan prasarana lainnya. Peralihan penggunaan lahan juga banyak dilakukan, terutama peralihan lahan dari lahan kebun menjadi lahan bangunan (Surata & Nindhia, 2016).

Nusa Penida merupakan wilayah kepulauan berupa suatu kecamatan yang secara administratif bagian dari Kabupaten Klungkung. Kecamatan Nusa Penida memiliki luas wilayah dua pertiga dari Kabupaten Klungkung sehingga wilayah kecamatan ini terluas dibanding empat kecamatan lainnya (BPS, 2021). Kecamatan Nusa Penida berupa kepulauan, terpisah dengan Ibukota Kabupaten Klungkung yang terletak di Pulau Bali. Kecamatan Nusa Penida terdiri dari 3 pulau, yaitu Nusa Penida sebagai pulau terbesar dan pulau-pulau kecil lainnya disebut Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan yang posisi ketiganya berbatasan langsung dengan Selat Lombok dan Samudera Indonesia (BPS, 2023).

Pariwisata di Nusa Penida semakin berkembang yang juga menuntut perkembangan beberapa komponen pendukung industri pariwisata. Salah satu komponen yang sangat penting adalah daya dukung air atau kemampuan penyediaan air. Berdasarkan penelitian Sudipa *et al.* (2020) bahwa keberadaan sumber air di wilayah Kecamatan Nusa Penida secara keseluruhan dapat memenuhi kebutuhan air. Namun, sumber-sumber air tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, ada ketimpangan pemerataan sumber daya air di semua wilayah Nusa Penida terutama pada 2 pulau kecil lainnya yakni Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan.

Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan memiliki sumber air yang lebih sedikit dibandingkan dengan Pulau Nusa Penida, dan hanya memiliki sumber air PDAM yang bersumber dari sumur bor dan hasil desalinasi air laut menjadi air layak konsumsi (Septiariya *et al.*, 2021). Salah satu metode desalinasi yang diterapkan adalah reverse osmosis (RO) yaitu cara desalinasi secara pemurnian air melalui membran semi permeabel berukuran 0,0001 µm (Utari, 2019). Keadaan ini diperparah dengan rendahnya lapisan air tawar pada 2 (dua) pulau tersebut sehingga ketersediaan air sumur di musim kemarau akan turun drastis (Sudipa *et al.*, 2020).

Mengingat kondisi 2 pulau seperti dijelaskan diatas, maka perlu adanya kajian sumber daya air alternatif untuk Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan. Salah satunya potensi sumber air tambahan adalah air hujan yang menurut Sudipa *et al.* (2020) berpotensi untuk pemenuhan kebutuhan air di kawasan Nusa Penida. Pemanfaatan sumber air hujan bisa dilakukan dengan menggunakan sistem pemanenan air hujan. Belakangan ini, sistem ini banyak dilakukan di beberapa daerah kering yang minim sumber daya air seperti Riau, Yogyakarta dan Nusa Tenggara Barat (Heryani *et al.*, 2013; Sutrisno *et al.*, 2016) dan sering digunakan sebagai sumber air tambahan guna mengurangi penggunaan sumber daya air lain yang ketersediaannya terbatas (Kurnia, 2017; Pamungkas *et al.*, 2023; Silvia & Safriani, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menjadikan sistem pemanenan air hujan sebagai salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan air domestik masyarakat di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan. Perencanaan diawali dari perhitungan jumlah kebutuhan air domestik kemudian dilakukan perhitungan ukuran atap rumah dan ukuran bak penampung yang diperlukan untuk mendukung sistem pemanenan hujan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk masyarakat di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan

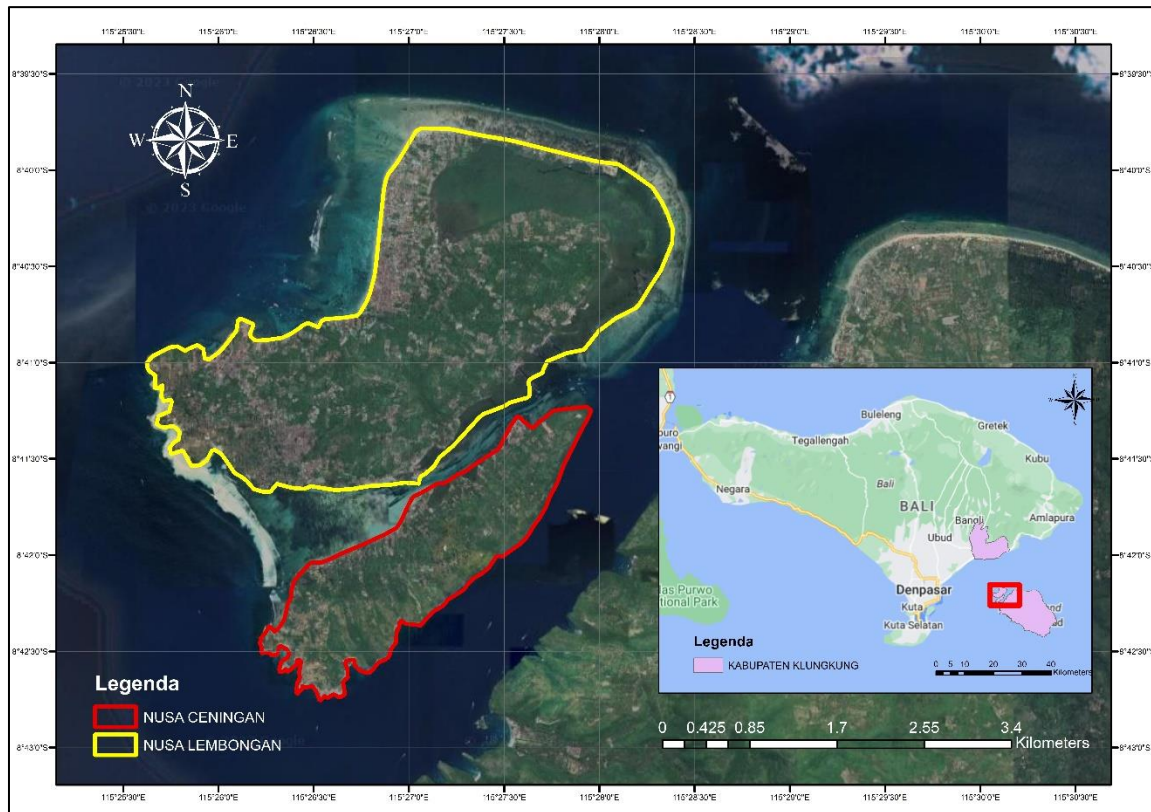
sebagai salah satu metode alternatif pemenuhan kebutuhan air domestik, dan untuk instansi terkait dalam menyusun atau membuat kebijakan daerah.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Nusa Penida yang memiliki luas 202,48 Km². Kecamatan Nusa Penida merupakan kecamatan yang memiliki 16 (enam belas) Desa yang tersebar di 3 (tiga) pulau (BPS, 2021). Rasio penduduk Nusa Penida antara laki-laki dan perempuan hampir seimbang. Jumlah penduduk laki-laki sebanyak 31.456 jiwa dan perempuan sebanyak 31.025 jiwa. Total keseluruhan penduduk di Kecamatan Nusa Penida berjumlah 62.481 jiwa dengan kepala keluarga (KK) berjumlah 17.629 KK (Disdukcapil Kab. Klungkung, 2022).

Penelitian difokuskan pada 2 (dua) pulau kecil di Kecamatan Nusa Penida yaitu Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan (Gambar 1). Pulau Lembongan merupakan pulau yang terdiri dari dua desa yaitu Desa Jungutbatu dan Desa Lembongan. Sedangkan Pulau Nusa Ceningan terdiri dari satu desa yakni Desa Lembongan. Desa Jungutbatu memiliki jumlah penduduk sebanyak 3.981 jiwa dengan 920 KK. Sementara itu, Desa Lembongan yang memiliki wilayah di 2 (dua) pulau berbeda memiliki penduduk berjumlah 5.205 jiwa dengan 1.158 KK.



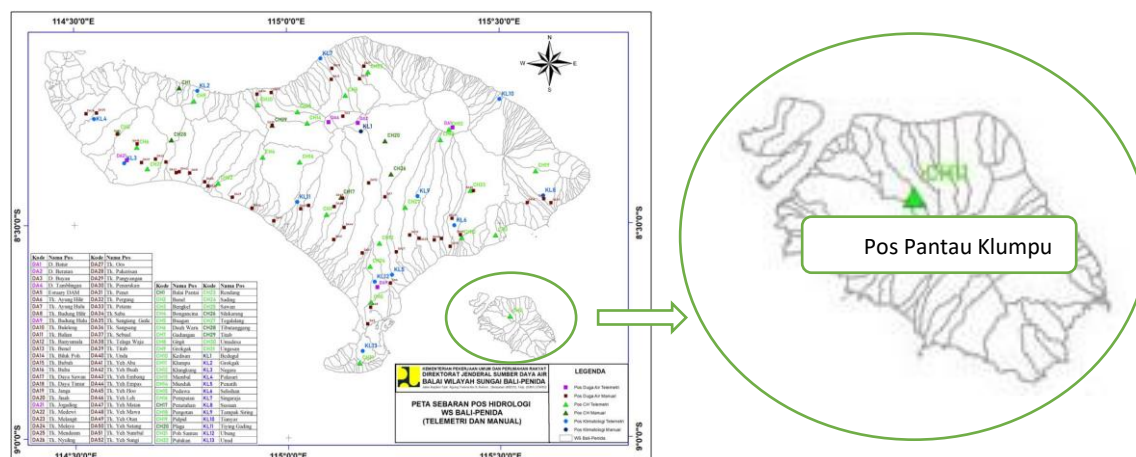
Gambar (Figure) 1. Peta Pulau Nusa Ceningan dan Pulau Nusa Lembongan (*Map of Nusa Ceningan Island and Nusa Lembongan Island*)

Sumber (Source): analisis (2023)

Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan memiliki tanah yang kering dan gersang. Keadaan ini diperparah dengan rendahnya lapisan air tawar di 2 pulau tersebut sehingga ketersediaan air sumur pada musim kering/kemarau menjadi turun drastis. Menurut Sudipa *et al.*, (2020) ketersediaan sumber air di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan sangat minim, karena hanya memiliki dua sumber air yaitu sumber air bor dan sumber air PDAM dari hasil desalinasi dengan metode reverse osmosis air laut.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah data curah hujan harian dan data kependudukan. Data curah hujan harian periode tahun 2011-2020 dari Pos Pantau Klumpu di Pulau Nusa Penida yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (Gambar 2). Sementara itu, data kependudukan tahun 2022 diperoleh dari Disdukcapil Kabupaten Klungkung. Alat yang digunakan yakni alat tulis, kalkulator, dan seperangkat komputer.



Gambar (Figure) 2. Peta Sebaran Pos Hidrologi Wilayah Sungai Bali-Penida (Distribution Map of the Bali-Penida River Basin Hydrological Post)
Sumber (Source): Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (2023)

C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yaitu mendeskripsikan kondisi wilayah penelitian kemudian menganalisis sistem PAH untuk dapat memenuhi kebutuhan air domestik. Pengumpulan data hujan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida yang selanjutnya dilakukan uji konsistensi data hujan. Data hujan yang sudah konsisten (tidak berubah) kemudian dianalisis periode bulan basah dan kering untuk mendapatkan kategori iklim di lokasi penelitian. Perolehan data jumlah penduduk tahun 2022 dari laporan Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kabupaten Klungkung digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan air domestik daerah pedesaan mengacu pada peraturan yang ada.

1. Iklim dan Cuaca

Iklim merupakan kondisi rata-rata cuaca dalam rentang periode tertentu dimana diperoleh dari pengumpulan dan perhitungan kondisi cuaca (Ufi *et al.*, 2021). Menurut Anasi (2022), cuaca adalah proses

perubahan jangka pendek yang terjadi pada atmosfer bumi pada selang waktu dan lokasi tempat tertentu. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menentukan jenis iklim di Indonesia adalah dengan cara klasifikasi berdasarkan curah hujan. Penentuan jenis iklim berdasarkan klasifikasi curah hujan dapat menggunakan sistem klasifikasi Schmidt-Ferguson (Anwar *et al.*, 2019). Penggunaan klasifikasi memerlukan 2 jenis perhitungan yaitu perhitungan rerata periode bulan kering menggunakan persamaan (1) dan perhitungan rerata periode bulan basah menggunakan persamaan (2).

$$Md = \sum fd / T \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan (Remarks):

- Md = Rerata periode bulan kering
- $\sum fd$ = Frekuensi bulan kering atau bulan dengan curah hujan dibawah 60 mm/bulan
- T = Lamanya penelitian dalam tahun

$$Mw = \sum fw / T \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan (Remarks):

- Mw = rerata periode bulan basah
- $\sum fw$ = frekuensi bulan basah atau bulan dengan curah hujan diatas 100 mm/bulan
- T = lamanya penelitian dalam tahun

Dari perhitungan rerata periode bulan kering dan rerata periode bulan basah sesuai rumus diatas, maka tipe iklim (Q) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3).

$$Q = M_d / M_w \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Nilai Q yang diperoleh dari perhitungan pada persamaan (3) dapat digunakan untuk menentukan jenis iklim suatu wilayah sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

2. Uji Konsistensi Data Hujan

Analisis konsistensi data hujan memakai metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Metode ini adalah pengujian kepenggahan data hujan menggunakan data hujan tahunan rata-rata yang didapatkan dari stasiun terdekat dengan lokasi penelitian dengan cara mengamati perbandingan kumulatif penyimpangan kuadrat terhadap nilai rata-ratanya (Pamungkas *et al.*, 2022). Uji konsistensi ini diperlukan karena besarnya peluang terjadinya perubahan lingkungan di sekitar alat penakar hujan ditambah lamanya jangka waktu dalam periode pencatatan yang dilakukan (Fawzia & Wiradiputra, 2015). Perubahan lingkungan di sekitar alat penakar ini umumnya mempengaruhi pengambilan data hujan di lapangan seperti data hujan tidak tercatat dan

terjadinya kesalahan pengamatan data hujan (Irawan *et al.*, 2020).

Persamaan RAPS yang digunakan untuk menganalisis konsistensi data hujan yang didapatkan dari stasiun yang telah ditentukan dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \dots\dots\dots (4)$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots, N$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \dots\dots\dots (5)$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan :

S_k^* = simpangan mutlak

S_k^{**} = nilai konsistensi data

Y_i = data hujan ke-i

$\bar{Y}$ = data hujan rerata-i

D_y = deviasi standar

N = banyaknya data yang digunakan.

Untuk uji konsistensi digunakan cara statistik :

$Q = \max S_k^{**}, 0 \leq k \leq N$, atau

$R = \max S_k^{**}, \min S_k^{**}, 0 \leq k \leq N$.

Nilai Q dan R dibandingkan dengan nilai kritis Q dan R seperti tersaji pada Tabel 2.

Tabel (Table) 1. Jenis iklim menurut *Schmidth-Ferguson* (*Climate types according to Schmidth-Ferguson*)

Kriteria (<i>Criteria</i>) (%)	Tipe iklim (<i>Climate Type</i>)	Keterangan (<i>Description</i>)
$0 < Q < 14,3$	A	Sangat Basah (<i>Very Wet</i>)
$14,3 < Q < 33,3$	B	Basah (<i>Wet</i>)
$33,3 < Q < 60$	C	Agak Basah (<i>Rather Wet</i>)
$60 < Q < 100$	D	Sedang (<i>Medium</i>)
$100 < Q < 167$	E	Agak Kering (<i>Rather Dry</i>)
$167 < Q < 300$	F	Kering (<i>Dry</i>)
$300 < Q < 700$	G	Sangat Kering (<i>Very Dry</i>)
$700 < Q$	H	Luar Biasa Kering (<i>Extraordinarily Dry</i>)

Sumber (*Source*) : Pamungkas, 2022

Tabel (Table) 2. Tipe iklim klasifikasi *Schmidth-Ferguson* (*Schmidth-Ferguson climate type*)

N	$\frac{Q}{\sqrt{N}}$			$\frac{R}{\sqrt{N}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
∞	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber (Source): Pamungkas, 2022

3. Pemanenan Air Hujan

Pemanenan air hujan biasanya dilakukan pada musim hujan dengan cara mengumpulkan air hujan yang jatuh di atap ataupun tanah langsung ditampung pada bak penampung untuk disimpan dan dimanfaatkan kemudian untuk memenuhi kebutuhan air pada musim kemarau. Secara tidak langsung pemanenan air hujan ini juga berguna dalam mengurangi limpasan air pada permukaan tanah dan jika air tersebut disalurkan pada sumur resapan maka dapat memperbaiki air tanah pada daerah tersebut baik dari kualitas maupun kuantitasnya (Pamungkas *et al.*, 2022).

Menurut Silvia & Safriani (2018) bahwa dalam implementasi teknik pemanenan air hujan dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori berdasar ruang lingkup penerapan yaitu:

- Teknik penggunaan atap bangunan sebagai media pemanenan air hujan (*roof top rainwater harvesting*), dan
- Teknik penggunaan reservoir sebagai media pemanenan air hujan dengan ruang lingkup yang lebih luas dimana pemanenan dilakukan pada air hujan yang mengalir pada permukaan dan

ditampung dalam bangunan yang lebih besar, seperti bangunan waduk, kolam, embung, situ, dam parit, dan bangunan lainnya.

Pada studi ini menggunakan teknik atau metode pemanenan air hujan teknik pertama yaitu pemanenan air hujan memanfaatkan atap bangunan. Secara prinsip dilaksanakan dengan menggunakan atap bangunan sebagai wilayah penangkapan air (*catchment area*) yang dikumpulkan dan ditampung ke dalam bak atau tangki. Untuk menampung air hujan hasil panen, juga bisa menggunakan kolam/taman ataupun tong air biasa yang ada didalam rumah sebagai pengganti jika tidak ada tangki atau bak.

Beberapa komponen perlu disiapkan dalam penerapan teknik pemanenan air hujan menggunakan atap gedung. Komponen-komponen tersebut memiliki keterkaitan fungsi yang saling melengkapi (Gambar 3).

Penjelasan dari masing-masing komponen tersebut sebagai berikut:

- Atap bangunan digunakan sebagai daerah penangkapan sehingga luas dan jenis atap bangunan yang digunakan sangat berpengaruh terhadap volume

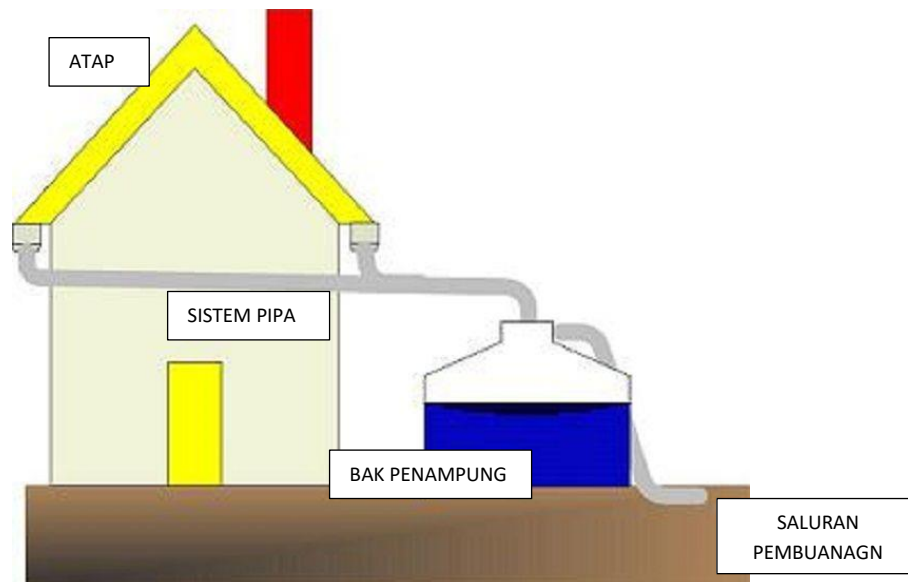
air hujan yang dapat ditangkap (Arifin & Ramadhan, 2021);

- b. Sistem pipa penyalur merupakan komponen pemanenan air hujan yang memiliki fungsi untuk menyalurkan air hujan hasil penangkapan di atap kemudian ke komponen penampung (Pamungkas, 2022);
- c. Bak penampung adalah komponen yang paling mahal dalam sistem pemanenan air hujan ini dimana komponen ini biasanya dibuat dengan perencanaan yang matang dan disesuaikan dengan volume air hasil panen, periode bulan kering dan kebutuhan air yang ada. Perencanaan yang matang pada komponen ini diharapkan mampu menyimpan air dalam jumlah yang optimum (Elgara *et al.*, 2016);
- d. Saluran pembuangan adalah komponen yang berfungsi sebagai saluran

pembuangan air pada detik-detik awal karena dianggap masih mengandung polutan yang banyak dari komponen sebelumnya (Herlambang *et al.*, 2021).

4. Menghitung Jumlah Air yang Mampu Dipanen

Dalam perhitungan jumlah air yang dapat di panen melalui teknik pemanenan air hujan, ada dua data yang harus diperhatikan yaitu data dimensi area penangkapan (*catchment area*) dan data hujan rata-rata tahunan pada daerah penelitian. Untuk mendapatkan nilai volume air hujan hasil panen dalam “liter”, maka perlu mengkondisikan terlebih dahulu nilai hujan rata-rata tahunan hasil perhitungan dalam “mm” dan nilai luas daerah penangkapan air hujan yang dinyatakan dalam “m²” (Pamungkas, 2022).



Gambar (Figure) 3. Komponen PAH dengan menggunakan media atap bangunan (*RWH components using building rooftop*)

Sumber (Source): IDEA (2019)

Di dalam proses pemanenan air hujan khususnya pada *cathment area roof top*/atap bangunan, air yang mengalir dan tertangkap pada atap bangunan tidak sepenuhnya dapat ditampung, disana ada peristiwa kebocoran, penguapan, komposisi atap, dan lain-lain. Soewarno (2000) dalam Silvia & Safriani (2018) menyebutkan bahwa perhitungan hasil panen air hujan pada limpasan atap harus memperhitungkan faktor kehilangan (*koefisien run off*) sebesar 0,8 dari jumlah air hujan yang diterima atap. Perhitungan potensi air hujan yang dapat dipanen dengan metode *rain water harvesting* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Safriani, 2021):

$$S = C \times R \times A \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan (*Remarks*):

- S = Jumlah air yang dapat dipanen (liter);
- C = Faktor kehilangan (0,8);
- R = Curah hujan rata-rata (mm); dan
- A = Luas atap bangunan (m²).

5. Menghitung Kebutuhan Air Untuk Domestik

Perhitungan penggunaan air untuk kegiatan sehari-hari dihitung berdasarkan jumlah penduduk di daerah pedesaan dan daerah perkotaan yang ada di Daerah Aliran Sungai (DAS) (Sitompul & Efrida, 2018). Jumlah kebutuhan air sebanyak 60 liter/hari/kapita biasanya untuk penduduk di daerah pedesaan, sedangkan jumlah kebutuhan air 120 liter/hari/kapita biasanya untuk penduduk di daerah perkotaan (Pamungkas *et al.*, 2023; Wijaya, 2020). Dengan diketahui jenis daerah yang akan ditinjau, maka perhitungan

kebutuhan air pada daerah tersebut dapat dihitung (SNI-6728.1, 2015).

Perhitungan kebutuhan air pada penelitian ini menggunakan kebutuhan air pedesaan 60 liter/hari/kapita, sehingga persamaan yang digunakan yaitu:

$$Dt = \sum Pd \times 365 \times 60 \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan (*Remarks*):

- Dt = Kebutuhan air untuk daerah pedesaan (liter/tahun); dan
- $\sum Pd$ = Jumlah keseluruhan penduduk.

6. Menghitung Kapasitas Volume Bak Penampung

Metode untuk menghitung kapasitas volume bak penampung pada kondisi bak penampung sudah terbangun atau sudah ada, dilakukan dengan survei langsung untuk mengetahui volume/kapasitas bak penampung (Pamungkas *et al.*, 2023). Perhitungan kapasitas bak penampung yang belum terbangun dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu pendekatan sisi suplai air dan pendekatan sisi kebutuhan (Pamungkas, 2022).

Metode pendekatan sisi kebutuhan adalah metode perhitungan kapasitas bak penampung yang paling sederhana dan banyak digunakan karena perhitungannya hanya berdasarkan pada ukuran atap bangunan sebagai daerah penangkapan dan volume kebutuhan air pada musim kering. Metode ini cocok digunakan untuk perhitungan kapasitas bak penampung pada daerah tropis seperti di wilayah Indonesia karena waktu lama musim kering dan musim hujan dapat dibedakan dengan jelas (Ardana & Pamungkas, 2016).

Perencanaan kapasitas bak penampung ditinjau dari sisi *demand* untuk menghitung kapasitas dan daya tampung yang diperlukan agar kebutuhan air di musim kemarau dapat dipenuhi, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Vb = \frac{Dt}{12} \times Tk / 1000 \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan (*Remarks*) :

Tk : Lamanya waktu musim kemarau (bulan)

Vb : Volume/kapasitas bak penampung air hujan (m³)

Dt : Kebutuhan air domestik per keluarga untuk 1 tahun (Liter)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Curah Hujan dan Klasifikasi Iklim

Data curah hujan yang tersedia untuk kawasan Kepulauan Nusa Penida adalah data curah hujan yang tercatat di pos pantau Klumpu yang terletak pada elevasi 262 m dari permukaan air laut yang berlokasi di koordinat 8°43'06"LS dan 115°34'36"BT. Pos ini didirikan pada Tahun 1974 dengan kode Pos 513003.

Penelitian ini menggunakan data curah hujan harian selama rentang waktu 10 tahun yakni periode tahun 2011 - 2020. Data curah hujan harian tersebut selanjutnya direkapitulasi secara tahunan. Berdasar Tabel 3 dapat dilihat bahwa curah hujan tahunan paling tinggi sebesar 3.484,00 mm yang terjadi pada tahun 2018, dan curah hujan tahunan paling rendah sebesar 1.211,00 mm pada tahun 2019. Adapun rerata curah hujan tahunan periode 2011 - 2020 sebesar 1765,51 mm.

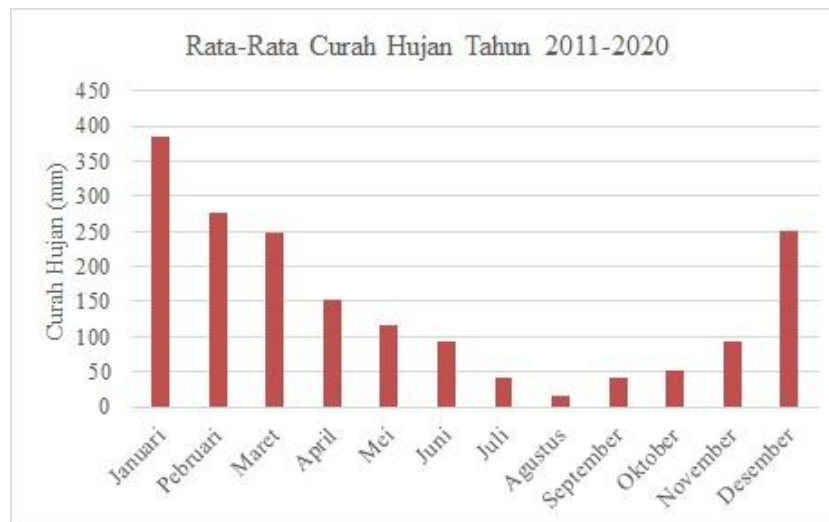
Jika dilihat dari grafik rerata curah hujan pada Pos Pantau Klumpu tahun 2011-2020 pada Gambar 4 didapatkan bahwa rerata curah hujan tertinggi sebesar 384,28 mm terjadi pada bulan Januari dan rerata curah hujan paling rendah sebesar 16,00 mm terpantau pada bulan Agustus.

Selanjutnya dilakukan analisis uji konsistensi dengan metode RAPS. Adapun hasil uji konsistensi data curah hujan di Nusa Penida periode 2011-2020 ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel (Table) 3. Rerata curah hujan pada Pos Pantau Klumpu Tahun 2011-2020 (*Rainfall average at Klumpu Monitoring Post in 2011-2020*)

Bulan	Curah Hujan (mm)										Rata-Rata
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Jan	333,00	705,00	295,00	295,00	416,00	255,85	436,00	589,00	280,00	238,00	384,28
Feb	271,00	358,50	138,00	138,00	244,00	280,20	246,00	553,00	193,00	340,00	276,17
Mar	270,00	355,50	112,00	112,00	99,00	66,00	215,00	460,00	350,00	437,00	247,65
Apr	276,00	41,00	30,00	30,00	179,00	0,00	121,00	535,00	218,00	107,00	153,70
May	78,00	146,30	113,00	113,00	17,30	46,60	65,00	361,00	45,00	173,00	115,82
Jun	0,00	4,00	142,00	142,00	10,00	453,00	88,00	88,00	0,00	4,00	93,10
Jul	16,00	9,00	41,00	41,00	0,00	103,00	35,00	124,00	27,00	12,00	40,80
Aug	36,00	0,00	3,00	3,00	0,00	77,00	0,00	30,00	5,00	6,00	16,00
Sep	0,00	9,00	7,00	7,00	27,00	54,00	40,32	234,00	10,00	30,00	41,83
Oct	0,00	19,00	21,00	21,00	0,00	234,00	70,69	98,00	0,00	54,11	51,78
Nov	0,00	149,00	179,00	179,00	44,00	40,00	83,67	238,00	0,00	26,52	93,92
Dec	323,00	271,00	429,00	429,00	231,00	261,74	269,05	174,00	83,00	34,80	250,56
Jumlah	1603,00	2067,30	1510,00	1510,00	1267,30	1871,38	1669,73	3484,00	1211,00	1462,43	1765,61
Rerata	133,58	172,28	125,83	125,83	105,61	155,95	139,14	290,33	100,92	121,87	

Sumber (*Source*): Hasil analisis (*Analysis result*) 2023



Gambar (Figure) 4. Grafik rata-rata curah hujan bulanan tahun 2011-2020 (*Graph of average monthly rainfall for 2011-2020*)

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*) 2023

Pada perhitungan uji konsistensi RAPS terhadap data curah hujan di Nusa Penida periode tahun 2011-2020 didapatkan nilai Q/vn lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai kritik yaitu $0,746 < 1,14$. Hasil perhitungan nilai R/vn juga lebih kecil jika dibandingkan nilai kritik dengan nilai $1,122$

$< 1,28$. Adanya dua hasil perhitungan yang lebih kecil daripada nilai kritik yang ditetapkan dapat disimpulkan bahwa data curah hujan yang didapatkan dari pos pantau Klumpu periode tahun 2011-2020 adalah sesuai dan layak digunakan untuk data perhitungan selanjutnya.

Tabel (Table) 4. Nilai kritik Q dan R (*Critical value Q and R*)

No	Tahun (Year)	Curah Hujan Maksimum (Maximum Rainfall) (mm)	Sk*	Dy2	Sk**	Isk**I
1	2011	333,00	-124,70	1555,01	-1,19	1,19
2	2012	705,00	247,30	6115,73	2,36	2,36
3	2013	429,00	-28,70	82,37	-0,27	-0,27
4	2014	429,00	-28,70	82,37	-0,27	0,27
5	2015	416,00	-41,70	173,89	-0,40	0,40
6	2016	453,00	-4,70	2,21	-0,04	0,04
7	2017	436,00	-21,70	47,09	-0,21	-0,21
8	2018	589,00	131,70	1723,97	1,25	-1,25
9	2019	350,00	-107,70	1159,93	-1,03	1,03
10	2020	437,00	-20,70	42,85	-0,20	-0,20
Jumlah		4577,00		10985,41		
Rerata		457,70				
n = 10			Sk** min	= -1,19		
Dy = 104,81			Q = [Sk** maks]	= 2,36		
Sk** maks = 2,36			R = Sk** maks – SK** min	= 3,55		
Untuk nilai statistik Q dan R (<i>for statistical value Q and R</i>)= 95%						
Q / v n = 0,746			< 1,14 (Sesuai (fit))			
R / v n = 1,122			< 1,28 (Sesuai (fit))			

Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*) 2023

Tabel (Table) 5. Periode bulan kering, bulan lembab, dan bulan basah periode tahun 2011-2020 (*Dry months, humid months and wet months for the 2011-2020 period*)

Klasifikasi bulan (<i>Month classification</i>)	Tahun (Year)										(Total)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
BK (<60 mm)	6	6	5	5	7	4	3	1	7	7	51
BL (60-100 mm)	1	0	0	0	1	2	4	2	1	0	11
BB (>100 mm)	5	6	7	7	4	6	5	9	4	5	58
Rata-Rata											120

Sumber (Source) : Hasil analisis (*Analysis result*) 2023

Keterangan (*Explanation*): BK adalah bulan kering, BL adalah bulan lembab, dan BB adalah bulan basah (*BK is dry month, BL is humid month and BB is wet month*)

Pada Tabel 5 diketahui bahwa dari pengamatan selama 120 bulan, terdapat 51 bulan kering dengan nilai curah hujan dibawah 60 mm, 11 bulan lembab dengan nilai curah hujan sebesar 60-100 mm, dan 58 bulan basah dengan nilai curah hujan diatas 100 mm.

Perhitungan klasifikasi iklim pada persamaan (3) diawali dengan perhitungan rata-rata periode bulan kering dengan persamaan (1) dan rata-rata periode bulan basah dengan persamaan (2).

1. $\frac{\sum f_d}{T} = \frac{51}{120} = 0,425$ bulan, dibulatkan menjadi 5 bulan.
2. $\frac{\sum f_w}{T} = \frac{58}{120} = 0,483$ bulan, dibulatkan menjadi 6 bulan.
3. $\frac{M_d}{M_w} \times 100\% = \frac{5}{6} \times 100\% = 83,33\%$,

berdasarkan klasifikasi iklim pada Tabel 1 maka masuk dalam kategori iklim tipe D (sedang).

Adapun kesimpulan dari hasil analisis hidrologi yang telah dilaksanakan sebelumnya (Kurnia, 2017; Pamungkas et al., 2023; Silvia & Safriani, 2018) bahwa Nusa Penida adalah daerah yang memiliki iklim tropis sedang dengan rentang periode musim kemarau selama 6 bulan (termasuk

bulan lembab selama 1 bulan) dan musim penghujan selama 6 bulan serta memiliki curah hujan tahunan sebesar 1.765,61 mm.

B. Analisis Kebutuhan Air

Analisis kebutuhan air berupa data kebutuhan domestik untuk daerah pedesaan dengan menggunakan data penduduk hasil dari data konsolidasi agregat kependudukan semester 1 tahun 2022 oleh Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Klungkung. Jumlah penduduk di Pulau Nusa Lembongan dan Nusa Ceningan sebanyak 9.186 jiwa dengan jumlah kepala keluarga sebanyak 2.078 KK. Selanjutnya analisis perhitungan menggunakan persamaan (9).

Analisis dan perhitungan kebutuhan air berdasarkan SNI-6728.1 (2015) sebagai berikut:

Kebutuhan Air untuk Penduduk Desa

$$\begin{aligned}
 QDS &= \sum \text{Penduduk Pulau Nusa Ceningan} \\
 &\quad \text{dan Nusa Lembongan} \times 365 \times 60 \\
 &\quad \text{liter/hari/kapita} \\
 &= 9.186 \times 365 \times 60 \\
 &= 201.173.400 \text{ liter/tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan jumlah penduduk 9.186 jiwa didapatkan jumlah kebutuhan air domestik sebesar 201.173.400 liter/tahun. Analisis selanjutnya adalah jumlah

kebutuhan air tiap rumah yang akan digunakan untuk menghitung kebutuhan luas atap rumah dan volume bak penampung. Berdasarkan perhitungan jumlah kebutuhan seluruh penduduk di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan dibagi dengan jumlah KK yang ada di kedua pulau tersebut maka didapatkan hasil bahwa kebutuhan air domestik untuk 2.078 KK di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan sebesar 96.811,07 liter/tahun.

C. Perhitungan Kapasitas Bak Penampung

Penentuan ukuran volume bak penampung yang dibutuhkan setiap rumah digunakan metode pendekatan sisi *demand*. Metode ini adalah metode paling sederhana untuk menghitung volume bak penampung dengan berdasarkan pada data jumlah kebutuhan air per keluarga untuk 1 tahun dan lamanya waktu musim kemarau. Data jumlah kebutuhan air per keluarga dalam setahun sesuai hasil perhitungan sebelumnya sebesar 96.811,07 liter, sehingga diperoleh 8.067,59 liter per bulan. Periode musim kemarau yang terjadi di Nusa Penida memiliki rentang waktu selama 6 bulan sehingga diperlukan bak penampung untuk menampung kebutuhan air selama musim kemarau.

Selanjutnya volume bak penampung yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air domestik selama musim kemarau dapat dihitung dengan Persamaan (8).

1. Kebutuhan air per keluarga untuk 1 tahun
= 96.811,07 liter

2. Lamanya waktu musim kemarau
= 6 bulan
3. Volume/kapasitas bak penampung air hujan = $\frac{96.811,07}{12} \times \frac{6}{1000}$
= 48,41 m³

Jadi ukuran volume/kapasitas bak penampung untuk menampung persediaan air guna memenuhi kebutuhan domestik selama musim kemarau selama 6 bulan adalah 48,41 m³ per KK.

D. Perhitungan Luas Atap

Perhitungan luas atap yang diperlukan untuk mendapatkan hasil panen air hujan sesuai dengan kebutuhan air per KK dapat dihitung dengan membagi kebutuhan air hujan dengan hasil perkalian rata-rata curah hujan pertahun untuk perhitungan 6 bulan kering dengan memakai koefisien *run off* atap dan mengesampingkan koefisien *run off* kawasan sesuai penelitian terdahulu dipakai 0,80 (Pamungkas, 2022). Adapun hasil perhitungannya dengan menggunakan persamaan 7 maka didapat hasil sebagai berikut:

1. Kebutuhan air per keluarga untuk 1 tahun
= 96.811,07 liter
Kebutuhan selama 6 bulan
= 6 x 96.811,07 / 12 = 48.405,5 liter
2. Rata-rata curah hujan pertahun
= 1.765,61 mm
Total curah hujan per 6 bulan
= 6 x 1.765,61 / 12 = 882,81 mm
3. Nilai koefisien *run off* atap
= 0,80
4. Perhitungan Luas Atap
 $S = C \times R \times A$
48.405,5 = 0,80 x 882,81 x A

$$A = \frac{48.405,5}{882,81 \times 0,80} \\ = 68,54 \text{ m}^2$$

Jadi luas atap yang harus dimanfaatkan untuk memanen air hujan dengan jumlah sesuai dengan kebutuhan air domestik setiap KK di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan adalah 68,54 m².

IV. KESIMPULAN

Kebutuhan air domestik yang diperlukan penduduk di Pulau Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan selama 6 (enam) bulan kering sebesar 48.405,5 liter. Luas atap yang diperlukan pada sistem pemanenan air hujan sebesar 68,54 m² dan bak penampung yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air adalah yang memiliki kapasitas 48,41 m³.

Penerapan sistem pemanenan air hujan pada wilayah penelitian yang menghasilkan sumber air tambahan khususnya untuk kebutuhan domestik ini sejalan dengan hasil penelitian di daerah lain dengan menggunakan metode yang sama. Desa Durensari Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo dapat menghemat air sebesar 214 m³/tahun atau sebesar 4% dari total kebutuhan air pada permukiman warga (Marwoto *et al.*, 2021), dan di Kota Masohi, Kabupaten Maluku Tengah dirancang dimensi bak penampung per-KK untuk menampung air hujan. Dari hasil penelitian pemanfaatan air hujan didapatkan bahwa volume air hujan yang dapat dipanen dengan atap sebesar 3 m³ (Tiwery *et al.*, 2022). Dari beberapa korelasi dengan penelitian sejenis tentu dapat dipastikan bahwa metode ini efektif dalam memberikan kontribusi sumber air tambahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang sudah membantu memberikan data guna mendukung kelancaran studi ini. Harapannya bahwa hasil studi bisa bermanfaat untuk penduduk di Pulau Nusa Ceningan dan Pulau Nusa Lembongan pada khususnya dan penduduk Indonesia pada umumnya dalam pemanfaatan air hujan sebagai pasokan air pada musim kemarau.

KONTRIBUSI

Penelitian ilmiah ini terbentuk melalui sinergi kolaboratif yang dilakukan oleh tiga penulis, masing-masing dengan peran khusus yang penting dalam prosesnya. Penulis pertama berperan sebagai inisiator utama, bertanggung jawab untuk merumuskan tujuan penelitian, serta merancang kerangka metodologi. Penulis kedua, yang memiliki keahlian mendalam dalam aspek metodologis, memimpin tahapan pengumpulan data, dan menghasilkan interpretasi mendalam dari temuan tersebut. Selain itu, penulis ketiga berperan sebagai penyusun artikel dengan mengarahkan proses penyusunan secara sistematis, menjaga kualitas bahasa dan format yang sesuai dengan standar ilmiah, sehingga hasil penelitian dapat disajikan secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anasi, P. T. (2022). Cuaca, Iklim dan Unsur-Unsurnya. In *Pengantar Ilmu Pertanian* (pp. 54–60). PT Global Eksekutif Teknologi.
- Anwar, A., Sudjarmiko, S., & Barchia, M. F. (2019). Pergeseran Klasifikasi Iklim Oldeman Dan Schmidt-Fergusson Sebagai Dasar Pengelolaan Sumberdaya

- Alam Di Bengkulu. *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 7(1), 59–68. <https://doi.org/10.31186/naturalis.7.1.9261>
- Ardana, P. D. H., & Pamungkas, T. H. (2016). Teknologi Pemanenan Air Hujan di Perkotaan, Suatu Pengantar. *Jurnal Teknik Gradien*, 8(1), 93–104. <http://repo.unr.ac.id/id/eprint/574>
- Arifin, M., & Ramadhan, H. (2021). Analisis Pemanfaatan Air Hujan sebagai Alternatif Penyediaan Air Sanitasi dan Pertanaman pada Kompleks Gedung Pemerintahan Kota Bandung. In *Institut Teknologi Nasional*. Institut Teknologi Nasional.
- BPS. (2021). *Kecamatan Nusa Penida Dalam Angka 2021*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klungkung.
- BPS. (2023). *Kabupaten Klungkung Dalam Angka 2023*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klungkung.
- Disdukcapil Kab. Kelungkung. (2022). *Data Agregat Kependudukan Berdasarkan Data Konsolidasi Bersih (DKB) Semester 1 Tahun 2022* (D. K. dan P. S. K. Kelungkung (ed.); Semester 1). Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Kelungkung.
- Elgara, R., Qomariah, S., & Muttaqien, A. Y. (2016). Analisis dan Perencanaan PAH Sebagai Sumber Air Baku Alternatif (Studi Kasus : Perumahan Nilagraha Pabelan Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*, 4(4), 946–951. <https://103.23.224.239/matriks/article/view/37020>
- Fawzia, A. A., & Wiradiputra, R. A. (2015). Pengujian Data Hujan Pada Stasiun Hujan Meliputi Stasiun Prumpung, Stasiun Dolo, Stasiun Jangkang, dan Stasiun Gondangan di Lereng Gunungapi Merapi, DIY. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 2(2), 62–77. https://www.researchgate.net/profile/Rezzy-Caraka/publication/284179902_Jurnal_Hari_Meteorologi_Dunia_HMD_No_2_Vol_2/links/564e7cc808aeafc2aab1da24/Jurnal-Hari-Meteorologi-Dunia-HMD-No-2-Vol-2.pdf#page=67
- Herlambang, N. P., Wijaya, S. C., Kristanto, Y. H., Duanda, R., Wolowutung, E. R., Ekowati, R. B. D., Andriani, Z. E., Simanullang, R. A. Y., Primanda, J. A. D., Linnanto, V. C. D., & Ratih, A. A. A. (2021). Pelatihan Pemasaran Hasil Tani Secara Digital Melalui Aplikasi E-Commerce Dan Pembuatan Alat Penampung Air Hujan Sederhana di Desa Semanu. *Jurnal Atma Inovasia (JAI)*, 1(1), 26–32. <https://doi.org/10.24002/jai.v1i1.3885>
- Heryani, N., Sudarman, K., Talaohu, S. H., Penelitian, B., Tentara, J. L., & No, P. (2013). Disain Teknologi Panen Hujan untuk Kebutuhan Rumah Tangga: Studi Kasus di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Pengkajian Dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 16(1), 170–182.
- Irawan, P., Ikhsan, J., Atmaja, S., & Komala Sari, N. (2020). Analisis dan Pemetaan Isohyet Curah Hujan Berbagai Periode Ulang Tahun (PUH) DAS Citanduy Hulu. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 2(1), 13–22. <http://jurnal.unsil.ac.id/index.php/akselasi/article/view/2043>
- Kurnia, N. A. (2017). *Studi Pemanfaatan Air Hujan Dari Atap Bangunan Sebagai Solusi Menghemat Pemakaian Air Pdam Pada Gedung Perkantoran Di Kecamatan Medan Belawan* [Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara]. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/12965>

- Marwoto, Setiawan, A., & Aziz, U. A. (2021). Perancangan Tangki Penampung Air Hujan Guna Pemanfaatan Air Hujan Sebagai Sumber Air Cadangan Pemukiman Warga (Studi Kasus : Desa Durensari Kec . Bagelen Kab . Purworejo). *Jurnal Surya Beton*, 5(2), 31–40. <http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/suryabeton/article/view/1315>
- Pamungkas, T. H. (2022). *Mendukung Ketahanan Air Berkelanjutan dengan Memanen Air Hujan* (A. Wahdi (ed.); Cetakan Pe). CV. Dewa Publishing.
- Pamungkas, T. H., Ardana, P. D. H., Soriarta, K., & Suardika, I. W. (2022). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Untuk Daerah Irigasi Auman Bodog di Kecamatan Selat dan Kecamatan Sidemen Kabupaten Karangasem. *Jurnal Teknik Sipil*, VII(II), 94–101. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.12-1.270>
- Pamungkas, T. H., Kariyana, I. M., & Putra, I. G. A. A. (2023). Potensi Pemanenan Air Hujan dalam Memenuhi Kebutuhan Air di Desa Seraya. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 19(1), 32–43. <http://jrs.ft.unand.ac.id/index.php/jrs/article/view/637>
- Pamungkas, T. H., Yekti, M. I., Harmayani, K. D., Khotimah, S. N., & Kariyana, I. M. (2022). Pemodelan Sumur Resapan Sebagai Upaya Penurunan Risiko Banjir Kota Denpasar pada DAS Badung. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(3), 263–274. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i3.11785>
- Safriani, M. (2021). *Perencanaan Pasokan Kebutuhan Air Bersih dengan Metode Pemanenan Air Hujan dan Sumur Resapan sebagai Upaya Konservasi Air Tanah (Studi Kasus Kecamatan Samarinda Utara)* [Institut Teknologi Kalimantan]. <http://repository.itk.ac.id/id/eprint/17074>
- Septiariva, I. Y., Suryawan, I. W. K., Suhardono, S., Sofiyah, E. S., & Zahra, N. L. (2021, March). Strategy and master plan for water supply and domestic wastewater in Klungkung Regency, Bali. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 1096, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Silvia, C. S., & Safriani, M. (2018). Analisis Potensi Pemanenan Air Hujan Dengan Teknik Rainwater Harvesting untuk Kebutuhan Domestik. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Univeritas Teuku Umar*, Vol. 4(No. 1), 62–73. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v4i1.590>
- Sitompul, M., & Efrida, R. (2018). Evaluasi Ketersediaan Air DAS Deli Terhadap Kebutuhan Air (Water Balanced). *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 14(2), 121–129. <https://doi.org/10.25077/jrs.14.2.121-130.2018>
- SNI-6728.1. (2015). Penyusunan Neraca Spasial Sumber Daya Alam- Bagian 1: Sumber Daya Air Spasial. In *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Sudipa, N., Mahendra, M. S., Adnyana, W. S., & Pujaastawa, I. B. (2020). Daya Dukung Air di Kawasan Pariwisata Nusa Penida, Bali. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(3), 117–123. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.07.03.4>
- Surata, I. W., & Nindhia, T. G. T. (2016). Pemberdayaan Masyarakat Melalui Pengembangan Kelompok Usaha Tani di Desa Ped. *Jurnal Udayana Mengabdi*, 15(01), 115–123. <https://doi.org/10.36563/publiciana.v15i01.424>
- Sutrisno, E., Ikhwan Siregar, Y., & Nofrizal,

- N. (2016). Pengembangan Sistem Pemanenan Air Hujan untuk Penyediaan Air Bersih di Selatpanjang Riau. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31258/dli.3.1.p.1-8>
- Tiwery, C. J., Magrib, N. I. D., & Sahetapy, E. P. (2022). Analisis Pemanfaatan Air Hujan dan Perencanaan Sistem Penampungan Air Hujan sebagai Pemenuhan Kebutuhan Air Rumah Tangga (Studi Kasus : Jln. Chr. M. Tiahahu, RT 008 Kota Masohi Kabupaten Maluku Tengah). *Jurnal Manumata*, 8(1), 66–74.
- Ufi, M. E. N., Sianturi, H., & Geru, A. S. (2021). Analisis Tipe Iklim Di Kabupaten Rote Ndao. *Jurnal Fisika*, 6(2), 101–112.
- Utari, Dewi Apriyani (2019) Pengolahan Air Tanah Menjadi Air Minum Dalam Kemasan Melalui Proses Reverse Osmosis. Other Thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wijaya, F. A. (2020). *Analisis Kebutuhan Air Domestik yang Prioritas Pada Kawasan Permukiman di Ibu Kota Kecamatan (IKK) Kabupaten Serdang Bedagai*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Medan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENYISIHAN MERKURI DAN BESI DARI AIR SUNGAI MENGGUNAKAN BUBUK CANGKANG TELUR

(Mercury and Iron Removal from River Water Using Eggshell Powder)

Badariah^{1*}, M. Syahran Jailani², dan Sarah Fiebrina Heraningsih³

¹ Prodi Tadris Biologi, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jalan Jambi – Muara Bulian Km.16 Simpang Sei Duren, Jaluko, Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

² Prodi Pendidikan Agama Islam, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jalan Jambi – Muara Bulian Km.16 Simpang Sei Duren, Jaluko, Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

³ Prodi Teknik Kimia, Universitas Jambi, Jalan Jambi-Ma Bulian, KM 15, Mendalo Indah, Jambi, 36361, Indonesia

*Email: badariah@uinjambi.ac.id

Diterima: 30 Mei 2023, Direvisi : 28 September 2023, Disetujui : 4 Oktober 2023

ABSTRACT

Mercury and iron are toxic heavy metals that often enter the waters through anthropogenic activities. The Batanghari River is one of the rivers affected by heavy metals. This study aims to remove mercury and iron from river water by using an adsorbent from egg shells. The treatment used was direct contact through stirring with variations of 45 minutes, 90 minutes, and 135 minutes. The doses of eggshell powder used were 1 grams, 5 grams, 10 grams, and 15 grams. The optimal removal efficiency is 100% for mercury and 89.54% for iron. The best adsorbent dose is 5 grams for mercury and 10 grams for iron and the best stirring speed is 135 minutes on both types of metals. The results of this study found that the removal of mercury and iron using eggshell powder is an easy, cheap, and effective process to implement.

Keywords: *eggshell powder; iron removal; mercury removal; river water treatment*

ABSTRAK

Merkuri dan besi adalah logam berat berbahaya yang seringkali masuk ke perairan melalui kegiatan antropogenik. Sungai Batanghari merupakan salah satu sungai yang terdampak akan logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk menyisihkan merkuri dan besi dari air sungai dengan menggunakan adsorben dari cangkang telur. Perlakuan yang digunakan ialah kontak secara langsung melalui pengadukan menggunakan variasi waktu 45 menit, 90 menit dan 135 menit. Jumlah dosis bubuk cangkang telur yang digunakan ialah 1 gram, 5 gram, 10 gram dan 15 gram. Efisiensi penyisihan optimal ialah 100% pada merkuri dan 89,54% pada besi. Dosis adsorben terbaik ialah 5 gram untuk merkuri dan 10 gram untuk besi dan kecepatan pengadukan terbaik ialah 135 menit pada kedua jenis logam. Hasil penelitian ini menemukan

bahwa penyisihan merkuri dan besi menggunakan bubuk cangkang telur ialah proses yang mudah, murah dan efektif untuk dilaksanakan.

Kata kunci: bubuk cangkang telur; pengolahan air sungai; penyisihan besi; penyisihan merkuri

I. PENDAHULUAN

Sungai Batanghari berada di Provinsi Jambi dan Provinsi Sumatera Barat yang merupakan sumber bahan baku utama dalam penyediaan air bersih dari PDAM yang berlokasi di Kota Jambi. Terdapat banyak aktivitas di sepanjang aliran Sungai Batanghari antara lain kegiatan antropogenik berupa aktivitas pertanian, penambangan, pembakaran bahan bakar oleh industri, dan kegiatan pada kompleks Pasar Angso Duo yang juga merupakan Pasar Induk Kota Jambi. Hal –hal tersebut menjadi tolak ukur bahwa kualitas air Sungai Batanghari perlu diperhatikan secara serius supaya tidak terkontaminasi logam berat (Yanova, Siagian, and Gusanti 2020). Aktivitas antropogenik tersebut adalah sumber paling umum di mana polutan seperti logam berat didistribusikan ke lingkungan melalui sistem penyaluran kotoran (*sewage*) dan limbah industri yang terus-menerus (Lakherwal, 2014; Wiriani, Syarifuddin, and Jalius, 2020).

Kehadiran logam berat beracun dan tidak dapat terurai yang ada dalam air limbah merupakan penyebab utama kekhawatiran karena dampak buruknya terhadap kesehatan manusia, fauna, dan flora. Oleh karena itu, pemerintah telah menetapkan nilai ambang batas lingkungan terkait dengan kualitas air limbah, untuk mendorong industri agar memberikan pilihan pengolahan limbah yang memadai sebelum dibuang ke lingkungan (Ronda et

al., 2013). Meskipun aturan telah ditegakkan, akan tetapi status mutu Sungai Batanghari sebagai bahan baku air utama Kota Jambi masih dalam keadaan mengkhawatirkan karena telah teramat sangat tercemar jika ditinjau berdasarkan kandungan logam merkuri dan besi berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 Kelas I (Yanova et al. 2020). Pada tahun 2021, tim peneliti melakukan penelitian mengenai kandungan logam berat di 10 titik pada Sungai Batanghari. Hasil penelitian tersebut menemukan bahwa kandungan merkuri pada salah satu titik sungai batanghari meningkat hingga 214 kali dibandingkan penelitian Yanova pada 2020 dan sumber pencemaran tersebut diprediksi berasal dari kegiatan antropogenik (Badariah *et al.*, 2023). Untuk itu dibutuhkan upaya pengolahan untuk mengatasi permasalahan tercemarnya air Sungai Batanghari.

Terdapat banyak pilihan pengolahan yang dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat diantaranya *chemical precipitation*, pertukaran ion, *reverse osmosis* and ultrafiltrasi, yang semuanya telah ditinjau oleh beberapa peneliti (Luptakova *et al.*, 2012). Meskipun proses pengolahan tersebut dapat digunakan, akan tetapi tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan pada limbah dengan konsentrasi polutan yang rendah (Simate and Ndlovu 2015). Hal ini disebabkan, beberapa proses tersebut

kurang efektif, tidak ekonomis atau rumit secara teknis ketika konsentrasi polutan di bawah 100 mg/L. Selain itu, beberapa metode ini memiliki kelemahan yaitu penggunaan reagen dalam jumlah banyak, kebutuhan energi yang tinggi dan juga menghasilkan lumpur sekunder yang beracun (Abdolali *et al.*, 2014).

Saat ini, proses adsorpsi telah banyak diteliti untuk menghilangkan zat berbahaya seperti logam berat dari air limbah. Daya tarik utama proses adsorpsi adalah mudah dalam penggunaan dan memiliki efisiensi penyisihan yang baik (Renu *et al.*, 2017). Secara komersial, adsorben seperti karbon aktif telah dibatasi penggunaannya karena harganya yang mahal (Malkoc, Nuhoglu, and Abali, 2006). Hal ini menyebabkan banyak penelitian untuk menggunakan adsorben dari bahan alam diantaranya menggunakan cangkang telur yang dihasilkan dari limbah bahan makanan (Harripersadth *et al.*, 2020; Oliveira, Benelli, and Amante, 2013) yang selaras sempurna dengan konsep ekonomi sirkular yang bertujuan mengurangi limbah dengan menambah nilai jual dari material tersebut. Industri produksi telur menawarkan perkembangan ekonomi yang pada akhirnya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap meningkatnya jumlah cangkang telur yang dihasilkan yang dianggap sebagai limbah (Oliveira *et al.*, 2013). Sehingga, penggunaan cangkang telur dapat memberikan solusi ganda yaitu mengurangi jumlah limbah yang terakumulasi di alam dan berpotensi untuk

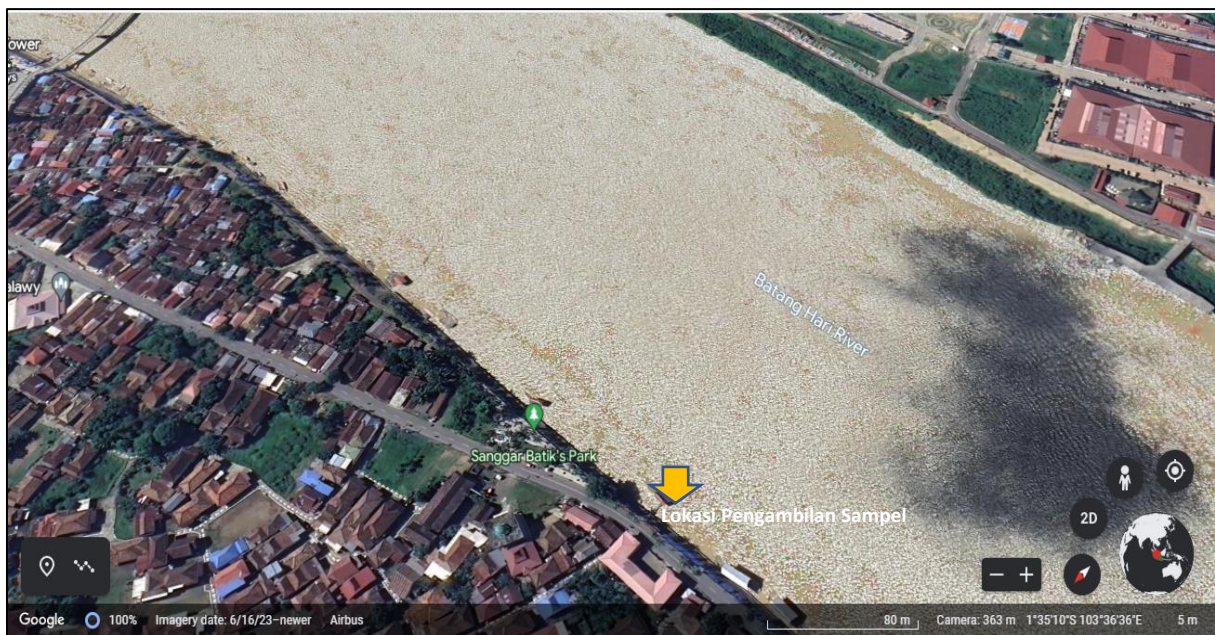
digunakan dalam industri pengolahan air (Harripersadth *et al.*, 2020).

Saat ini penelitian adsorpsi logam berat menggunakan cangkang telur terbatas pada sampel larutan logam sintetik (Ehsanpour, Riahi Samani, and Toghraie, 2023; Harripersadth *et al.*, 2020; Praipipat, Ngamsurach, and Pratumkaew, 2023), air limbah industri (Katha *et al.*, 2021), air limbah tambang (Badariah, Rainiyati, and Heraningsih, 2021) dan limbah pewarna batik (Riduan *et al.*, 2022). Belum banyak penelitian yang menggunakan air sungai sebagai sampel penelitiannya. Sehingga penelitian ini mencoba menemukan formulasi terbaik untuk menyisihkan logam besi dan merkuri dengan jenis sampel yang diolah ialah air sungai. Manfaat dari penelitian ini ialah didapatkan adsorben yang murah karena berasal dari bahan alam untuk mengatasi permasalahan pencemaran besi dan merkuri pada air Sungai. Formulasi ini dapat menjadi rujukan untuk membuat membran yang dapat digunakan untuk mengolah air sungai agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2022 di Laboratorium Teknik Kimia, Universitas Jambi. Titik lokasi sampling ialah 1°35'10"S 103°36'36"E berdasarkan google earth yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar (Figure) 1. Lokasi Pengambilan Sampel (*Sampling Location*)
Sumber (Source) : Google Earth (*Google Earth*)

Penentuan titik tersebut berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan titik kontaminasi besi dan merkuri tertinggi dari 10 titik yang dianalisa di penelitian sebelumnya (Badariah *et al.*, 2023). Analisa sampel baik yang telah diolah maupun sampel pembandingan dilakukan di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan FT Universitas Andalas Padang.

B. Bahan dan Alat

Bahan penelitian yang digunakan untuk penyisihan logam merkuri dan besi pada air sungai ialah cangkang telur yang dikumpulkan secara langsung dan dibersihkan serta disimpan untuk proses selanjutnya. Sampel yang diberikan perlakuan ialah air Sungai Batanghari. Air Sungai Batanghari diambil pada satu titik lokasi yang pada penelitian sebelumnya merupakan titik dengan konsentrasi logam merkuri dan besi tertinggi (Badariah *et al.*,

2023). Air sungai diambil dan disimpan ke dalam jerigen sebelum proses pengolahan selanjutnya. Sampel diambil dengan metode kombinasi dengan mencampurkan air dari bagian atas, bagian tengah dan bagian bawah sungai. Peralatan yang digunakan adalah oven, ayakan, lumpang dan alu, saringan dan *magnetic stirrer*.

C. Metode Penelitian

Tahapan pertama yang dilakukan ialah preparasi cangkang telur ayam untuk dijadikan bubuk cangkang telur. Cangkang telur ayam dikumpulkan dari limbah restoran lokal di Jambi, Indonesia. Cangkang telur ayam dibersihkan lalu dioven pada suhu 250°C selama 54 jam. Hal ini bertujuan untuk pemisahan cangkang telur dan selaput membran. Hasil pengovenan kemudian digerus hingga berbentuk bubuk dan diayak menggunakan saringan 100 mesh. Bubuk cangkang telur yang telah didapatkan kemudian dicuci

hingga pH normal dan air cucian berwarna bening. Tahapan selanjutnya ialah perlakuan kontak secara langsung. Air Sungai Batanghari dicampurkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sesuai variabel yang ditetapkan pada Tabel 1. Penelitian mengikuti prosedur *univariate* yaitu hanya melakukan uji terhadap 1 data dan tidak melakukan perulangan yang diadaptasi dari penelitian Martin *et al.* (2013) dengan melakukan variasi pada dosis adsorben dan waktu pengadukan. Sampel kemudian dидiamkan (*settling*) selama 30 menit lalu dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring Whattman No 42 untuk memisahkan *supernatant* dan adsorbent. *Supernatant* kemudian disimpan pada botol sampel yang bersih dan kemudian dianalisa menggunakan analisa *Inductively Coupled Plasma Mass Spechtrphotometry (ICP-MS)*. Teknik analisisnya dengan cara

pengatomisasian elemen yang akan memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu selanjutnya panjang gelombang tersebut dapat diukur untuk mengetahui kadar merkuri (Hg) dan besi (Fe) dalam sampel. Keseluruhan tahapan penelitian diringkaskan pada Gambar 2.

Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan dari masing-masing logam dihitung menggunakan persamaan 1. Efisiensi penyisihan diperlukan untuk menguji kemampuan adsorben dalam efektivitasnya untuk menyisihkan logam berat. (Gusain, Kumar, and Sinha, 2020; Liu *et al.*, 2018)

$$Efisiensi\ Penyisihan = \frac{(c_o - c_e)}{c_o} \times 100 \dots\dots(1)$$

dimana :

C_o (mg/L) = konsentrasi logam awal pada campuran

C_e (mg/L) = konsentrasi logam akhir pada campuran

Tabel (Table) 1. Variabel Penelitian (Research Variable)

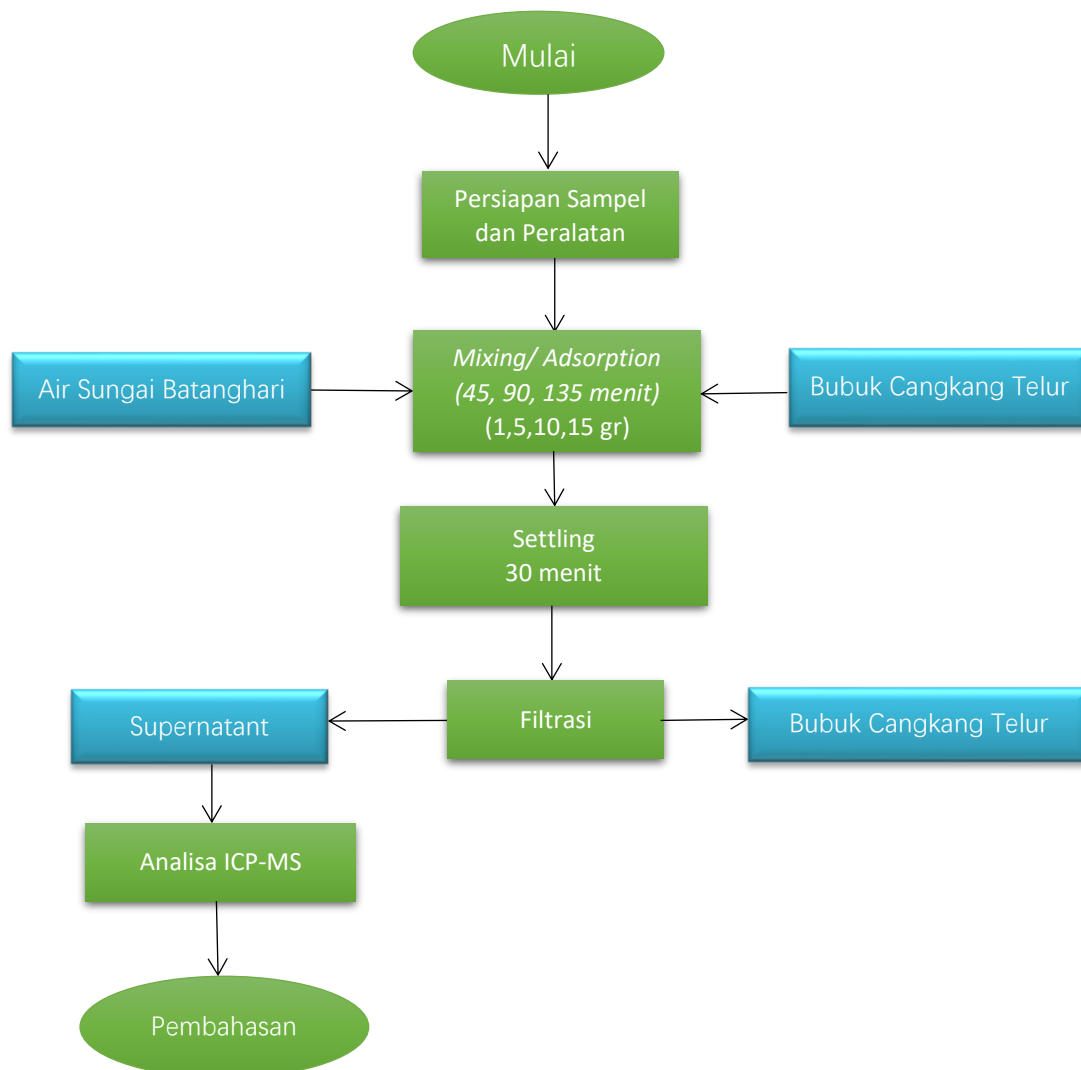
Kode Sampel (Sample Code)	Massa Adsorben (Adsorbent Mass) (Gr)	Volume Sampel (Sample Volume) (mL)	Waktu Pengadukan (Mixing Time) Menit (Min)
A1.1	1	400	45
A1.2	1	400	90
A1.3	1	400	135
A2.1	5	400	45
A2.2	5	400	90
A2.3	5	400	135
A3.1	10	400	45
A3.2	10	400	90
A3.3	10	400	135
A4.1	15	400	45
A4.2	15	400	90
A4.3	15	400	135

Sumber (Source) : Data Penelitian (Research Data)

Keterangan (Remarks):

Aa.b. = a menunjukkan massa adsorben, b menunjukkan waktu pengadukan.

A1.1 = sampel dengan perlakuan massa adsorben 1 gram dan waktu pengadukan 45 menit



Gambar (Figure) 2. Tahapan Ringkas Penelitian (*Simplification of Research Step*)

Sumber (Source) : Data Penelitian (*Research Data*)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa ICP-MS yang telah dilaksanakan menunjukkan hasil berupa data konsentrasi merkuri dan besi dari sampel yang telah dikondisikan sesuai variabel penelitian. Hasil ini kemudian diolah menggunakan Persamaan (1) untuk menghitung efisiensi penyisihan merkuri dan besi. Hasil perhitungan ditabulasikan pada Tabel 2.

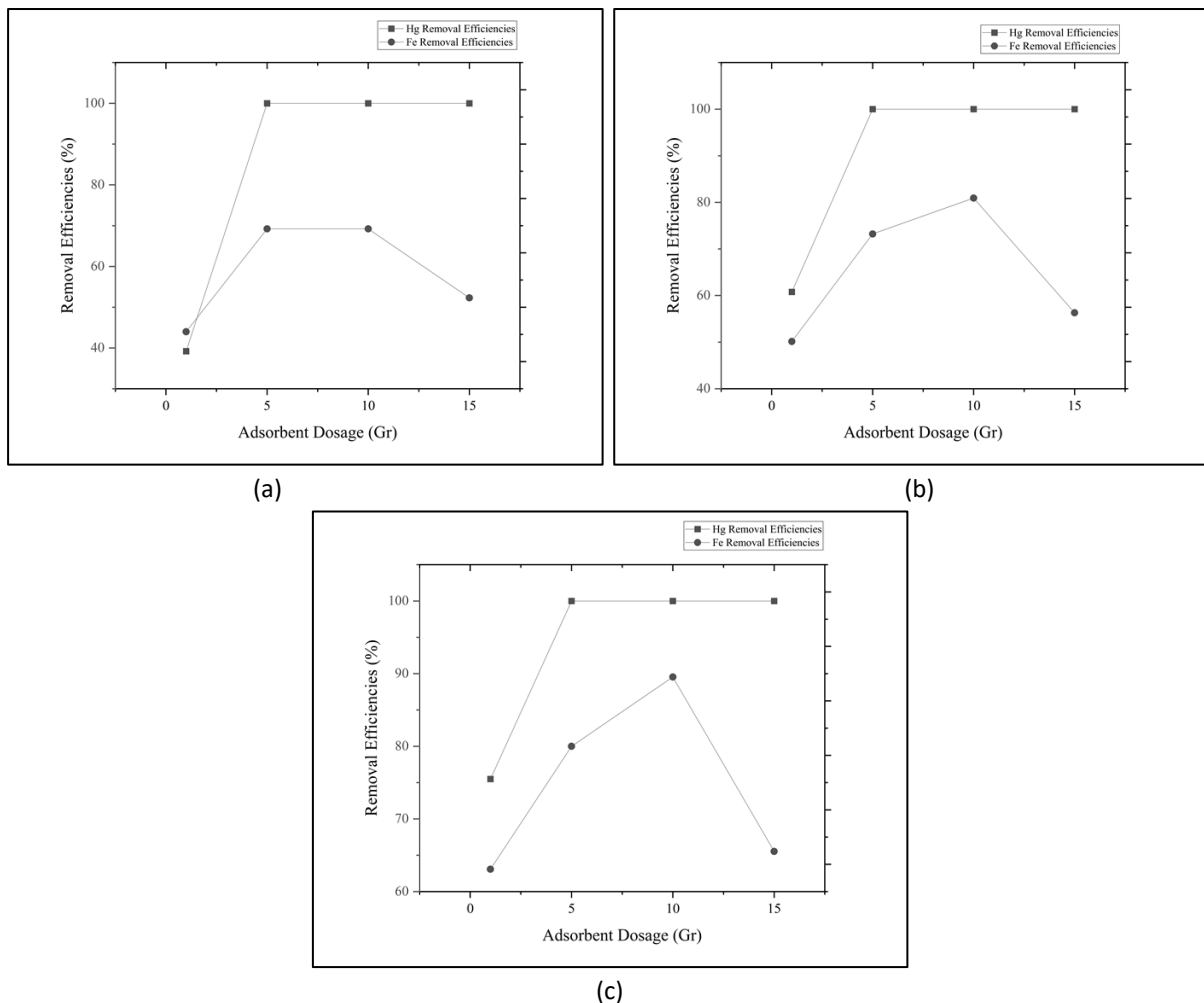
Untuk mengetahui pengaruh efisiensi adsorpsi terhadap dosis adsorben, disusunlah grafik yang ditampilkan pada

Gambar 3 dan untuk mengetahui pengaruh efisiensi adsorpsi terhadap kecepatan pengadukan disusunlah grafik yang ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa pada penyisihan merkuri, jumlah dosis 5 gram adalah jumlah dosis yang cukup untuk menghilangkan merkuri dari air karena penambahan dosis lebih lanjut menunjukkan efisiensi penyisihan yang sama yaitu mencapai 100% dan hal ini konsisten pada jumlah adsorbent 10 dan 15 gram.

Tabel (Table) 2. Efisiensi Penyisihan Hg dan Fe (Removal Efficiencies of Hg and Fe)

Kode Sampel (Sample Code)	Efisiensi Penyisihan Hg (Removal Efficiencies of Hg) (%)	Efisiensi Penyisihan Fe (Removal Efficiencies of Fe) (%)
A1.1	39.22	44.00
A1.2	60.78	50.15
A1.3	75.49	63.08
A2.1	100.00	69.23
A2.2	100.00	73.23
A2.3	100.00	80.00
A3.1	100.00	69.23
A3.2	100.00	80.92
A3.3	100.00	89.54
A4.1	100.00	52.31
A4.2	100.00	56.31
A4.3	100.00	65.54

Sumber (Source) : Analisis dari Data Penelitian (Research Analysis Data)



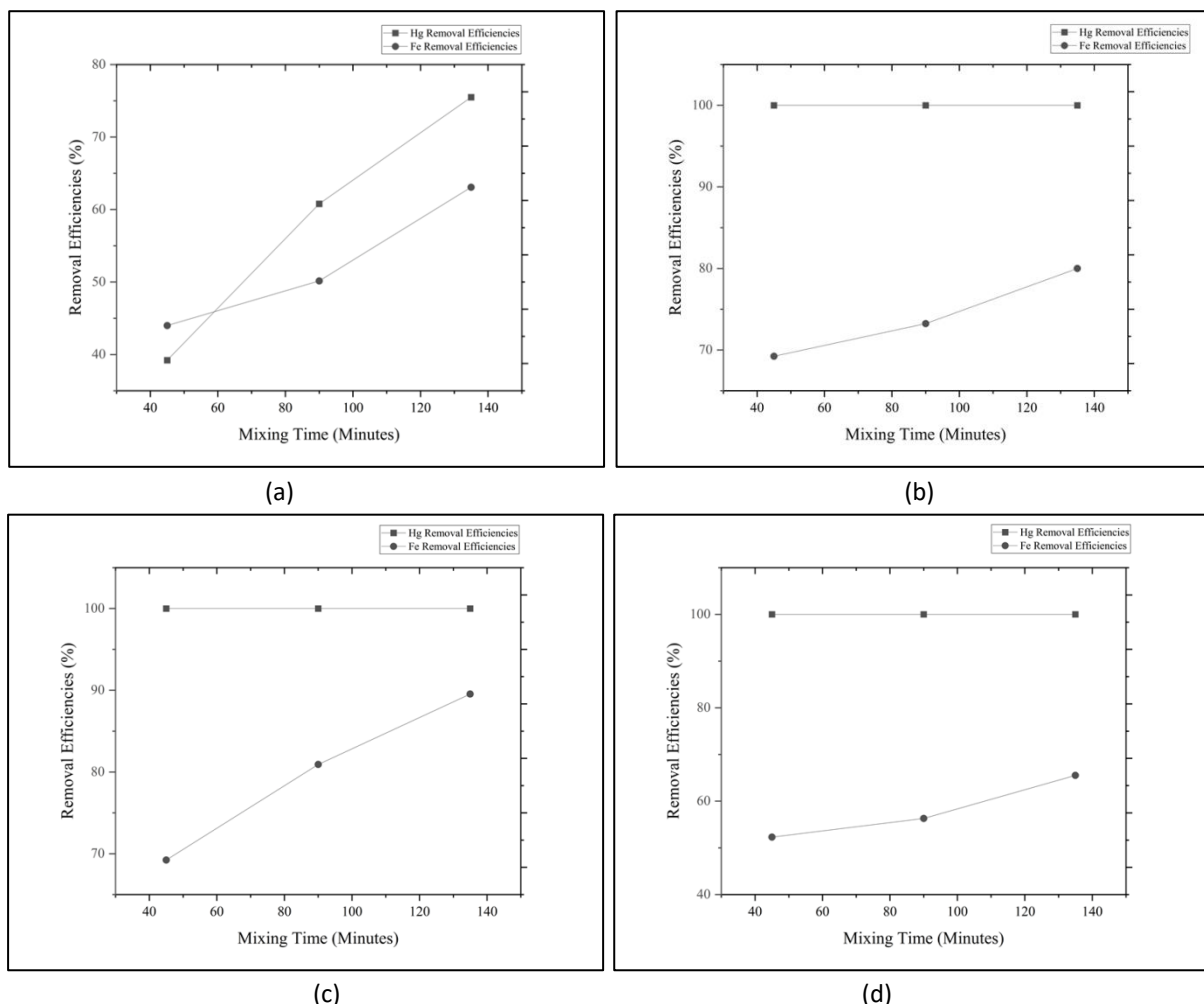
Gambar (Figure) 3. Efisiensi Penyisihan Vs Dosis adsorben : (a) 45 menit; (b) 90 menit; (c) 135 menit (Removal Efficiencies Vs Adsorbent Dosage : (a) 45 Minutes; (b) 90 Minutes ; (c) 135 Minutes)

Sumber (Source) : Analisis dari Data Penelitian (Research Analysis Data)

Pada penyisihan besi, proses penyisihan mencapai titik optimum pada jumlah dosis 10 gram dan akan turun pada dosis 15 gram sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa dosis 10 gram adalah dosis yang optimum pada penyisihan besi sehingga ada indikasi bahwa penambahan dosis adsorben akan menimbulkan efek jenuh dan membuat logam berat kembali lepas ke dalam air. Hal ini juga senada dengan penelitian (Katha *et al.*, 2021; Praipipat *et al.*, 2023) yang menunjukkan bahwa penyisihan logam berat akan semakin

besar dengan penambahan massa adsorben dan akan sampai pada titik puncak yang setelahnya diikuti dengan penurunan efisiensi penyisihan dengan penambahan dosis yang lebih banyak.

Hasil yang didapatkan tersebut juga konsisten terhadap setiap waktu pengadukan yang ditampilkan pada Gambar 3 tersebut. Waktu pengadukan sangat berpengaruh pada terhadap penyisihan logam berat karena dengan semakin lama waktu pengadukan akan semakin besar nilai efisiensi penyisihannya (Katha *et al.*, 2021; Rainiyati *et al.*, 2022).



Gambar (Figure) 4. Efisiensi Penyisihan Vs Waktu Pengadukan dari : (a) 1 Gram; (b) 5 Gram ; (c) 10 Gram; (d) 15 Gram. (Removal Efficiencies Vs Mixing Time of : (a) 1 Grams; (b) 5 Grams ; (c) 10 Grams; (d) 15 Grams)

Sumber (Source) : Analisis dari Data Penelitian (Research Analysis Data)

Hal ini dibuktikan pada penelitian ini bahwa kurva penyisihan terhadap waktu memiliki kecenderungan mengalami kenaikan dengan waktu penyisihan terbaik ialah pada waktu 135 menit. Penelitian dengan menggunakan bubuk cangkang telur ini mampu menghilangkan merkuri hingga 100% sehingga sangat efektif untuk digunakan. Terkait aplikasi di lapangan perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk desain peralatan penunjang dalam pemanfaatan bubuk cangkang telur sebagai bahan isian membran atau filter untuk pengolahan air sungai.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, cangkang telur terbukti mampu menyerap logam merkuri dan besi dari air sungai Batanghari. Efisiensi penyisihan tertinggi mencapai hingga 100%, yaitu pada penyisihan logam merkuri. Pada penyisihan logam besi, nilai efisiensi penyisihan tertinggi mencapai 89,74%. Dosis terbaik pada penyisihan merkuri ialah 5 gram dan dosis terbaik pada penyisihan besi ialah 10 gram. Waktu pengadukan terbaik ialah pada waktu 135 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih atas pendanaan penelitian oleh LPPM UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi melalui skema penelitian interdisipliner.

KONTRIBUSI

Penulis pertama, BB, berkontribusi pada desain penelitian dan pengambilan data primer. Penulis MSJ berkontribusi pada pengumpulan literatur untuk menunjang latar belakang pada penulisan manuskrip.

Penulis SFH berkontribusi pada pembahasan dan analisis data hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdolali, A., W. S. Guo, H. H. Ngo, S. S. Chen, N. C. Nguyen, and K. L. Tung. 2014. "Typical Lignocellulosic Wastes and By-Products for Biosorption Process in Water and Wastewater Treatment: A Critical Review." *Bioresource Technology* 160:57–66. doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.037.
- Badariah, B., R. Rainiyati, and S. F. Heraningsih. 2021. "The Adsorption of Hg 2+ Ions from the Illegal Gold Mining Wastewater Using Fly Ash from Palm Shells ." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1098(4):042105. doi: 10.1088/1757-899x/1098/4/042105.
- Badariah, Badariah, Nisa Sukmawati, Sarah Fiebrina Heraningsih, Rainiyati Rainiyati, Ahmad Riduan, and Riski Dwimalida Putri. 2023. "Heavy Metal Contamination of Batanghari River, Jambi, Indonesia: Determination Based on Sediment Enrichment Factor Value." *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10(4):4761. doi: 10.15243/jdmlm.2023.104.4761.
- Ehsanpour, Saied, Majid Riahi Samani, and Davood Toghraie. 2023. "Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Eggshell/ Poly Pyrrole Composite." *Alexandria Engineering Journal* 64:581–89. doi: 10.1016/j.aej.2022.09.018.
- Gusain, Rashi, Neeraj Kumar, and Suprakas Sinha. 2020. "Recent Advances in Carbon Nanomaterial-Based Adsorbents for Water Purification." *Coordination Chemistry Reviews* 405:213111. doi: 10.1016/j.ccr.2019.213111.

- Harripersadth, Charlene, Paul Musonge, Yusuf Makarfi Isa, Moisés García Morales, and Ana Sayago. 2020. "The Application of Eggshells and Sugarcane Bagasse as Potential Biomaterials in the Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions." *South African Journal of Chemical Engineering* 34(August):142–50. doi: 10.1016/j.sajce.2020.08.002.
- Katha, Purbita Saha, Zia Ahmed, Rafiul Alam, Badhan Saha, Arup Acharjee, and M. Safiur Rahman. 2021. "Efficiency Analysis of Eggshell and Tea Waste as Low Cost Adsorbents for Cr Removal from Wastewater Sample." *South African Journal of Chemical Engineering* 37(June):186–95. doi: 10.1016/j.sajce.2021.06.001.
- Lakherwal, Dimple. 2014. "Adsorption of Heavy Metals: A Review." *International Journal of Environmental Research and Development* 4(1):41–48. doi: 10.1016/j.matpr.2019.07.462.
- Liu, Ziyang, Wei Yang, Wen Xu, and Yangxian Liu. 2018. "Removal of Elemental Mercury by Bio-Chars Derived from Seaweed Impregnated with Potassium Iodine." *Chemical Engineering Journal*. doi: 10.1016/j.cej.2018.01.148.
- Luptakova, Alena, Stefano Ubaldini, Eva MacIngova, Pietro Fornari, and Veronica Giuliano. 2012. "Application of Physical-Chemical and Biological-Chemical Methods for Heavy Metals Removal from Acid Mine Drainage." *Process Biochemistry* 47(11):1633–39. doi: 10.1016/j.procbio.2012.02.025.
- Malkoc, Emine, Yasar Nuhoglu, and Yüksel Abali. 2006. "Cr(VI) Adsorption by Waste Acorn of *Quercus Ithaburensis* in Fixed Beds: Prediction of Breakthrough Curves." *Chemical Engineering Journal* 119(1):61–68. doi: 10.1016/j.cej.2006.01.019.
- Martins, Amanda & Pereira, Milene & Jorgetto, Alexandre & Martines, Marco & Silva, Rafael & Saeki, Margarida & Castro, Gustavo. 2013. The reactive surface of Castor leaf [*Ricinus communis* L.] powder as a green adsorbent for the removal of heavy metals from natural river water. *Applied Surface Science*. 276. 10.1016/j.apsusc.2013.02.096.
- Oliveira, D. A., P. Benelli, and E. R. Amante. 2013. "A Literature Review on Adding Value to Solid Residues: Egg Shells." *Journal of Cleaner Production* 46:42–47. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.09.045.
- Praipipat, Pornsawai, Pimploy Ngamsurach, and Krissana Pratumkaew. 2023. "The Synthesis, Characterizations, and Lead Adsorption Studies of Chicken Eggshell Powder and Chicken Eggshell Powder-Doped Iron (III) Oxide-Hydroxide." *Arabian Journal of Chemistry* 16(5):104640. doi: 10.1016/j.arabjc.2023.104640.
- Rainiyati, Ahmad Riduan, Sarah Fiebrina Heraningsih, and Bunga Andari Mukhtasida. 2022. "Mercury Removal from Gold Mining Wastewater Using Palm Oil Fuel Ash (POFA)." *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 9(3):3525–31. doi: 10.15243/jdmlm.2022.093.3525.
- Renu, Madhu Agarwal, Kailash Singh, S. Upadhyaya, and R. K. Dohare. 2017. "Removal of Heavy Metals from Wastewater Using Modified Agricultural Adsorbents." *Materials Today: Proceedings* 4(9):10534–38. doi: 10.1016/j.matpr.2017.06.415.
- Riduan, Ahmad, Rainiyati, Sarah Fiebrina Heraningsih, and Badariah. 2022. "Minimizing River Pollution by Batik Dye Wastewater Using Palm Oil Fuel Ash (POFA) as an Environmentally Friendly, Low-Cost Adsorbent Alternative." *J. Degrade. Min. Land Manage*

- 10(1):3981–89. doi:
10.15243/jdmlm.2022.101.3981.
- Ronda, A., M. A. Martín-Lara, E. Dionisio, G. Blázquez, and M. Calero. 2013. "Effect of Lead in Biosorption of Copper by Almond Shell." *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 44(3):466–73. doi:
10.1016/j.jtice.2012.12.019.
- Simate, Geoffrey S., and Sehliselo Ndlovu. 2015. "The Removal of Heavy Metals in a Packed Bed Column Using Immobilized Cassava Peel Waste Biomass." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 21:635–43. doi:
- 10.1016/j.jiec.2014.03.031.
- Wiriani, Erna Rahayu Eko, Hutwan Syarifuddin, and Jalius. 2020. "Analisis Kualitas Air Sungai Batanghari - The Analisis of Batanghari River Water Quality Sustainable in Jambi City." *Khazanah Intelektual*. 219–41.
- Yanova, Shally, Kory Asi Mariana Siagian, and Rizki Gusanti. 2020. "Tingkat Cemaran Logam Berat Pada Air Sungai Batanghari Provinsi Jambi Berdasarkan Indeks C/P (Contamination/Pollution)." *Jurnal Daur Lingkungan* 3(2):62. doi:
10.33087/daurling.v3i2.56.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI DAS BATANG TABIR
KABUPATEN MERANGIN, PROVINSI JAMBI**

(Land Use Change Analysis in Batang Tabir Watershed Merangin Regency, Jambi Province)

Wirdatul Awaliyah Haryani^{1,2*}, Dwi Putro Tejo Baskoro², dan Yayat Hidayat²

¹*Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, Sekolah Pascasarjana, IPB University*

²*Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University*

**Email: awaliaharyani@gmail.com*

Diterima: 7 Agustus 2023, Direvisi: 12 September 2023, Disetujui: 30 Oktober 2023

ABSTRACT

A continuous land use change in a watershed will affect the hydrological characteristics of the watershed. The Batang Tabir watershed has experienced a decrease in its carrying capacity shown by an increase in the frequency of flooding and the area of flood inundation. This study analyzes the land use changes in the Batang Tabir watershed, Merangin Regency, Jambi Province. The data used are DEM, topographic maps, river network maps, and Landsat imagery. Analysis of land use change used the Maximum Likelihood Classification (MLC) and the accuracy of image interpretation was carried out through the Kappa accuracy test. The land use prediction using the ANN model. The results showed that the rate of land use change increased in secondary forests, built-up areas, agriculture, and open areas; primary forests, paddy fields, and shrubs continued to decline. It is predicted in the year 2030, the trend will be the same; the built-up areas, agriculture, and secondary forests will increase, while primary forests, paddy fields, shrubs, and open areas will decrease.

Keyword: Batang Tabir Watershed; MLC; ANN; land use change

ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan yang terus menerus pada suatu DAS akan mempengaruhi karakteristik hidrologi DAS tersebut. DAS Batang Tabir mengalami penurunan daya dukung DAS yang ditandai dengan meningkatnya frekuensi banjir serta bertambahnya luas genangan banjir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan di DAS Batang Tabir Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi. Data yang digunakan yaitu DEM, peta topografi, peta jaringan sungai, dan citra landsat. Analisis perubahan penggunaan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*Maximum Likelihood Classification/MLC*) dan ketepatan hasil interpretasi citra dilakukan melalui uji akurasi Kappa. Prediksi penggunaan

lahan menggunakan model ANN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perubahan penggunaan lahan meningkat pada hutan sekunder, kawasan terbangun, pertanian, dan lahan terbuka, hutan primer, sawah dan semak belukar terus mengalami penurunan. Diperkirakan pada tahun 2030 trennya akan sama, luas lahan terbangun, pertanian dan hutan sekunder akan mengalami peningkatan sedangkan hutan primer, sawah, semak belukar, dan lahan terbuka akan berkurang.

Kata kunci: DAS Batang Tabir; MLC; ANN; perubahan penggunaan lahan

I. PENDAHULUAN

Perubahan penggunaan lahan yang disebabkan oleh campur tangan manusia untuk pemenuhan kebutuhannya seringkali tidak sesuai dengan peruntukannya. Proses perubahan penggunaan lahan pada dasarnya merupakan akibat dari adanya pertumbuhan dan transformasi struktur sosial-ekonomi masyarakat yang sedang berkembang (Hardjowigeno & widiatmaka, 2007). Perubahan penggunaan lahan yang tidak mengikuti kaidah pengelolaan DAS yang sesuai dapat berpengaruh buruk terhadap daya dukung DAS. Di Ethiopia, perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan yang diamati dari tahun 1992 sebagian besar mengalami konversi tutupan vegetasi alami menjadi lahan pertanian. Akibatnya penggunaan lahan dan tutupan lahan mengacu pada kombinasi penggunaan lahan alternatif yang ada dan jenis tutupan lahan berdasarkan interaksi lingkungan alam dan aktivitas manusia yang memiliki dampak penting terhadap perubahan lingkungan global dan pembangunan berkelanjutan (Beshir *et al.* 2023). Di DTA Danau Kerinci, penggunaan lahan dan dinamikanya juga mengikuti tren serupa, dengan implikasi signifikan terhadap degradasi sumber

daya alam (Jupiardi, *et al.* 2022).

Berdasarkan evaluasi tata air yang dilakukan oleh BPDASHL Batanghari pada tahun 2007, disebutkan bahwa DAS Batang Tabir memiliki frekuensi banjir yang tergolong rendah yakni terjadi 1 kali selama 5 tahun (BPDASHL Batanghari 2010). Sejak tahun 2010 frekuensi banjir di DAS Batang Tabir meningkat yang disertai dengan bertambahnya luas genangan banjir (BWS Sumatera VI, 2012). Untuk mengontrol perubahan aliran dan meminimalkan kerusakan tanah perlu adanya pengawasan terhadap terjadinya perubahan penggunaan lahan. Menurut Pawitan (2004), dalam aspek fisik DAS diperlukan pengawasan terhadap perubahan penggunaan lahan sehingga dapat mengontrol aliran air serta meminimalkan kerusakan tanah. Tercapainya kondisi tata air yang optimal merupakan salah satu tujuan pengelolaan DAS.

Selain penggunaan lahan historis dan yang sudah ada, prediksi skenario pengelolaan lahan berkelanjutan juga perlu mendapat perhatian lebih (Yirsaw *et al.* 2017). Hal ini membantu memahami perspektif ahli hidrologi dan pemerhati lingkungan mengenai perubahan masa lalu dan potensi

dinamika masa depan untuk membuat keputusan yang tepat di berbagai tingkat. Terdapat beberapa model yang dapat digunakan untuk simulasi dan prediksi penggunaan lahan, dalam penelitian ini menggunakan model ANN yang terdapat pada Molusce (*Pluggin QGis*). ANN merupakan sistem yang dijalankan berdasarkan jaringan saraf tiruan. Menurut Gharaibeh (2020), ANN merupakan salah satu pemodelan yang sudah menggunakan teknologi kecerdasan buatan. Metode ANN dapat memahami hubungan nonlinier yang kompleks dari *input-output* kategori penggunaan lahan di setiap langkah dari pemrosesan permodelan tersebut (Basse *et al.* 2014). Jenis model ANN yang digunakan dalam penelitian ini adalah MLP (*Multi-Layer Perceptron*). MLP berkinerja lebih baik dalam simulasi perubahan lanskap, terutama ketika terdapat interaksi nonlinier antara LULC dan memodelkan banyak tipe transisi secara bersamaan (Eastman, 2016).

Aktivitas manusia merupakan salah satu pendorong utama terjadinya perubahan penggunaan lahan (Spruce *et al.* 2020). Lambin *et al.*, (2001) menyatakan bahwa perubahan penggunaan lahan merupakan pendorong utama perubahan lingkungan. Untuk melestarikan lingkungan dengan memanfaatkan lahan secara optimal serta meminimalkan permasalahan yang terjadi pada lahan, diperlukan informasi

tentang kecenderungan perubahan penggunaan lahan. Informasi perubahan penggunaan lahan diperlukan untuk perencanaan dan pemantauan pengembangan suatu kawasan, sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal dengan tetap menjaga kelestariannya dan meminimalkan konflik lahan (Harvini, 2017). Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini menganalisis perubahan penggunaan lahan dan memprediksi trend perubahannya sebagai informasi yang bermanfaat pada perencanaan pengelolaan DAS ke depan.

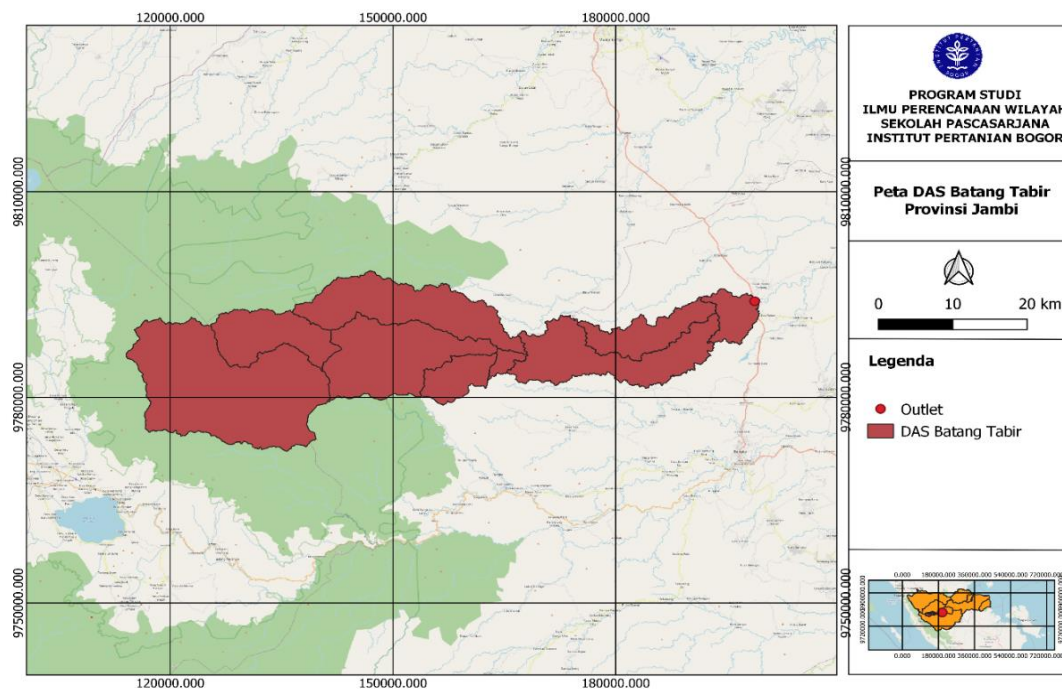
II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2021 sampai dengan Februari 2022 pada Stasiun Pengamatan Arus Sungai (SPAS) Rantau Panjang yang berlokasi pada koordinat 1°51'41.50"LS dan 102°17'31.70"BT. Secara administratif, DAS Batang Tabir meliputi Kabupaten Merangin dan Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah software ArcGIS 10.3, QGIS, Google Earth Pro, dan Microsoft Office.



Gambar (Figure) 1. Peta Lokasi Penelitian (Study Area Map)

Sumber (Source): Pengolahan data, 2022 (Data analysis, 2022)

Table (Table) 1. Data, sumber data, keterangan (Data, data source, description)

Data (Data)	Sumber Data (Data source)	Keterangan (Description)
Digital Elevation Model (DEM)	Badan Informasi Geospasial (BIG) DEMNAS	
Peta Topografi	http://tanahair.indonesia.go.id/	Deliniasi DAS Batang Tabir
Peta Jaringan Sungai	BPDASHL Batanghari	
Citra Landsat Tahun 2011, 2015 dan 2019	United States Geological Services (USGS) https://earthexplorer.usgs.gov/	Mengetahui perubahan penggunaan lahan di DAS Batang Tabir dengan interpretasi citra menggunakan klasifikasi terbimbing pada tahun 2011, 2015 dan 2019

C. Metode Penelitian

Data penggunaan lahan diperoleh melalui analisis dengan metode klasifikasi terbimbing. Klasifikasi terbimbing merupakan metode yang sering digunakan untuk memperoleh informasi dari data penginderaan jauh. Klasifikasi terbimbing merupakan salah satu dari klasifikasi

multispektral. Klasifikasi multispektral merupakan teknik otomatisasi digital yang telah banyak digunakan untuk memetakan penggunaan lahan dan tutupan lahan (Septiani *et al.* 2019). Pada proses klasifikasi dibagi menjadi *preprocessing*, *processing*, dan uji akurasi. *Preprocessing* terdiri dari pemotongan citra, koreksi

geometri, dan komposit band. Pemotongan citra sesuai dengan lokasi penelitian dilakukan untuk mendapatkan areal yang menjadi fokus penelitian sehingga *output* peta penggunaan dan perubahan lahan yang diperoleh memiliki luasan yang konsisten. Pada *preprocessing* ini juga dilakukan koreksi geometri agar citra landsat yang digunakan memiliki koordinat yang sama dengan koordinat geografis di permukaan bumi. Komposit band citra digunakan untuk memudahkan dalam memperoleh informasi mengenai variasi objek. *Processing*, klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification (MLC)*. Metode ini telah digunakan secara luas dalam berbagai kegiatan pemetaan lahan (Poursanidis *et al.*, 2015). Ketepatan terhadap hasil interpretasi citra diintegrasikan dengan citra *time-series* beresolusi tinggi di *Google Earth Pro* (Getachew & Meten, 2021). Hasil klasifikasi diuji keakuratannya melalui uji akurasi. Uji akurasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan nilai statistik Kappa, kriteria penilaian koefisien kappa terlihat pada Tabel 2. Uji akurasi penggunaan lahan tahun 2011-2019 di lakukan dengan citra *Google Earth pro* pada 100 titik pengamatan.

Trend perubahan penggunaan lahan diperoleh melalui prediksi penggunaan lahan untuk tahun 2030. Prediksi penggunaan lahan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak *open source* yaitu QGIS. Pada QGIS terdapat *plugin* MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Simulation*). *Plugin* ini menggabungkan algoritma yang dapat digunakan dalam analisis perubahan penggunaan/tutupan lahan. Molusce terdiri dari lima tahapan yaitu modul *input*, analisis perubahan area, metode pemodelan, simulasi, dan validasi. Peta yang dijadikan masukan adalah peta penggunaan lahan tahun 2011 sebagai *initial* dan peta penggunaan lahan tahun 2015 sebagai *final*. Faktor pendorong yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak ke jalan dan jarak ke pemukiman.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

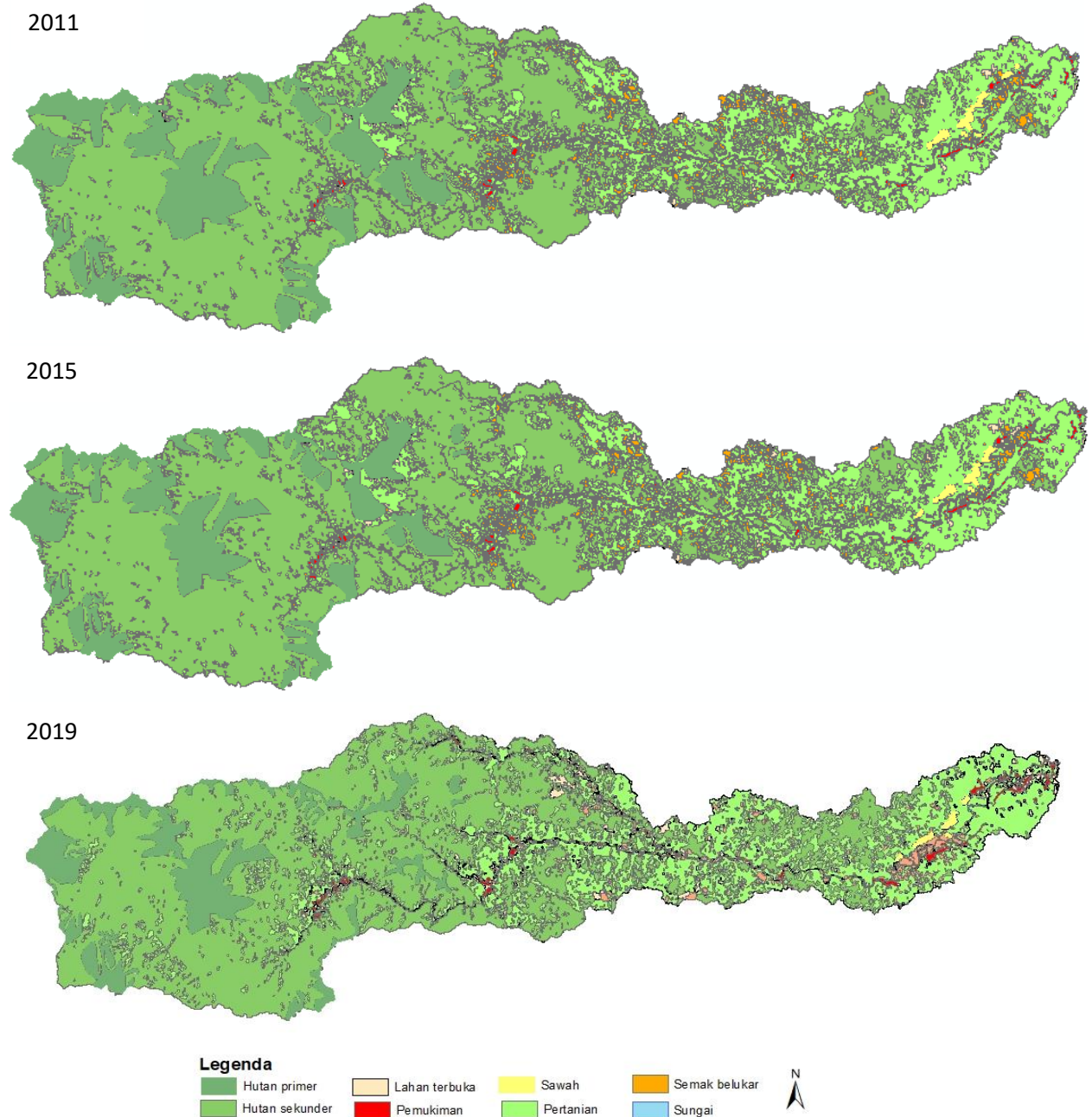
Perubahan Penggunaan Lahan di DAS Batang Tabir

Klasifikasi penggunaan lahan mengacu pada SNI 7645-1-2014. Hasil pengklasifikasian penggunaan lahan tahun 2011, 2015, dan 2019 disajikan pada Gambar 2.

Tabel (Tabel) 2. Kriteria Penilaian Koefisien Kappa (*Kappa coefficient assessment criteria*)

Nilai Kappa (<i>Kappa Value</i>)	Agreement
<0	Buruk
0.01 – 0.20	Sedikit
0.21 – 0.40	Cukup
0.41 – 0.60	Sedang
0.61 – 0.80	Baik
0.80 – 0.99	Hampir Sempurna

Sumber (*source*): Viera & Garret (2005)



Gambar (Figure) 2. Peta penggunaan lahan DAS Batang Tabir tahun 2011, 2015, dan 2019 (*Land use map of Batang Tabir watershed area in 2011, 2015, and 2019*)

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

Gambar tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lahan pada DAS Batang Tabir berupa badan air, hutan primer, hutan sekunder, lahan terbangun, pertanian, tanah terbuka, sawah, dan semak belukar. Nilai statistik Kappa untuk klasifikasi penggunaan lahan memiliki tingkat akurasi yang baik. Lampiran 1 menunjukkan matrik

kesalahan untuk mengetahui tingkat akurasi peta penggunaan lahan yang dihasilkan dari interpretasi citra pada tahun 2011, 2015, dan 2019.

Berdasarkan hasil uji akurasi diketahui bahwa nilai *kappa accuracy* untuk peta penggunaan lahan tahun 2011 sebesar 0,80 (baik), tahun 2015 menghasilkan nilai

kappa accuracy sebesar 0,81 (hampir sempurna) dan tahun 2019 menghasilkan nilai *kappa accuracy* sebesar 0,79 (baik) (Tabel 3). Hasil uji akurasi tergolong bagus sehingga dapat menggambarkan kondisi sebenarnya dengan nilai rata-rata *Kappa Accuracy* (KA) sebesar 0,80. Berdasarkan hasil uji akurasi tersebut menunjukkan bahwa peta penggunaan lahan yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang baik

Hasil analisis penggunaan lahan selama periode 2011-2019 (Gambar 2) menunjukkan adanya perubahan penggunaan lahan di DAS Batang Tabir. Hasil perubahan penggunaan lahan pada DAS Batang Tabir pada tahun 2011, 2015, dan 2019 akan disajikan secara rinci pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Hasil analisis dari citra Landsat dengan metode *Maximum Likelihood Classification*, kondisi penggunaan lahan untuk DAS Batang Tabir untuk tahun 2011, 2015, dan 2019 pada hutan primer, sawah dan semak belukar mengalami penurunan luasan setiap tahunnya, sedangkan hutan sekunder, lahan terbangun, pertanian, dan tanah terbuka tiap tahunnya mengalami penambahan luas (Tabel 5). Hasil penelitian Susiwidiyaliza (2015), pada periode 1995-2013 terjadi pengurangan luas hutan di DAS Batang Tabir sebesar 20,641.52 ha (19.21%), mengakibatkan peningkatan debit aliran rata-rata tahunan dan peningkatan nilai KAT (0,47). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi DAS Batang Tabir semakin buruk.

Tabel (Table) 3. Uji akurasi perubahan penggunaan lahan (Test the accuracy of land use changes)

Tahun (Year)	Koefisien Kappa (Kappa coefficient)	Keterangan (Description)
2011	0,80	Baik
2015	0,81	Hampir Sempurna
2019	0,79	Baik

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

Tabel (Table) 4. Luas penggunaan lahan (Land-use area)

Penggunaan Lahan (Land use)	2011		2015		2019	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Badan Air	737,5	0,68	737,5	0,68	737,5	0,68
Hutan Primer	16479,3	15,11	14188,7	13,01	10593,2	9,71
Hutan Sekunder	59455,8	54,51	61363,5	56,26	61683,9	56,56
Lahan Terbangun	495,4	0,45	546,1	0,5	661,3	0,61
Pertanian	26324,4	24,14	26500,9	24,3	29874,3	27,4
Tanah Terbuka	1056,2	0,97	1149,9	1,05	2478,8	2,27
Sawah	429,8	0,39	372,7	0,34	293,0	0,27
Semak Belukar	4085,0	3,75	4204,1	3,85	2741,4	2,51

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

Tabel (Table) 5. Perubahan penggunaan lahan (*Land-use change*)

Penggunaan Lahan	Perubahan Penggunaan Lahan					
	2011-2015		2015-2019		2011-2019	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Badan Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hutan Primer	-2290,62	-2,10	-3595,43	-3,30	-5886,04	-5,40
Hutan Sekunder	+1907,72	+1,75	+320,41	+0,29	+2228,13	+2,04
Lahan Terbangun	+50,70	+0,05	+115,24	+0,11	+165,95	+0,15
Pertanian	+176,53	+0,16	+3373,39	+3,09	+3549,92	+3,25
Tanah Terbuka	+93,70	+0,09	+1328,85	+1,22	+1422,55	+1,30
Sawah	-57,14	-0,05	-79,73	-0,07	-136,87	-0,13
Semak Belukar	+119,10	+0,11	-1462,74	-1,34	-1343,64	-1,23

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

Antara tahun 2011 dan 2019, lahan pertanian, hutan sekunder, tanah terbuka, dan lahan terbangun meningkat sebesar 3,25%, 2,04%, 1,30%, dan 0,15%. Sebaliknya, pada tahun-tahun tersebut, luas hutan primer, semak belukar, dan sawah mengalami penurunan masing-masing sebesar 5,40%, 1,23%, dan 0,13%. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah hutan primer, semak belukar, dan sawah sebagian besar digantikan oleh wilayah pertanian dan lahan terbangun (Lampiran 2). Penggunaan lahan berubah sebagai akibat dari meningkatnya permintaan lahan pertanian dan lahan terbangun. Temuan ini sejalan dengan Jupiardi *et al.* (2022) dimana periode tahun 2009-2019 menunjukkan bahwa hutan primer di DTA Danau Kerinci mengalami penurunan luasan sebesar 6,76% dan mengalami peningkatan pertanian lahan kering sebesar 13%.

Penurunan hutan primer dan peningkatan lahan terbangun, lahan terbuka, dan pertanian mengindikasikan perubahan penggunaan lahan mengarah pada kerusakan. Perubahan penggunaan lahan berdampak signifikan terhadap hilangnya keanekaragaman hayati,

hilangnya tutupan hutan, dan perubahan iklim (Beshir *et al.* 2023). Selain itu, limpasan, hilangnya tanah, dan aliran sungai dipengaruhi oleh penggunaan lahan (Wei, 2023). Banyaknya perambahan hutan pada daerah dengan kemiringan lereng landai sampai agak curam menyebabkan pengurangan luas kawasan hutan primer (Mahyuddin *et al.* 2013). Salah satu faktor penting dalam merespon masuknya air hujan suatu DAS adalah penggunaan lahan. Menurut Austin *et al.* (2019), pengurangan luasan kawasan hutan di Indonesia terjadi karena dikonversi menjadi lahan pertanian.

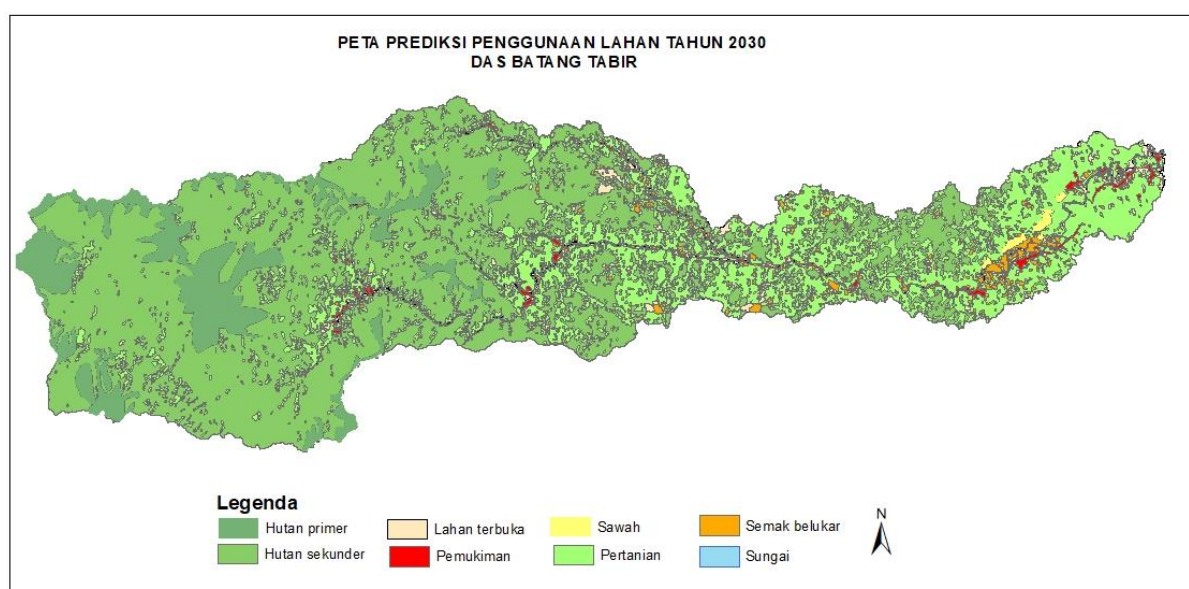
Secara umum, peningkatan lahan pertanian disertai dengan meningkatnya penggunaan lahan terbangun. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar penduduk di daerah penelitian memenuhi kebutuhan hidupnya dari penggunaan lahan tersebut (Asdak, 2010). Menurut Nugroho *et al.*, (2018), lahan terbangun memiliki tren yang meningkat. Hal ini merupakan konsekuensi dari pertambahan jumlah penduduk dan meningkatnya sektor ekonomi *tourism*. Terjadinya perubahan penggunaan lahan didorong oleh beberapa faktor seperti pertumbuhan

penduduk (Mhawish & Saba, 2016) dan industrial (Hatami & Shafierdekani, 2014). Menurut Hardiani (2014), tingkat pertumbuhan penduduk sekitar 2,55% per tahun. Adanya peningkatan luasan lahan terbangun disebabkan karena adanya pertumbuhan penduduk dan urbanisasi (Surya *et al.*, 2021). Peningkatan lahan pertanian dan lahan terbangun, serta pengurangan luasan hutan primer dapat mengakibatkan buruknya potensi air,

meningkatkan variabilitas iklim (Tang & Yang, 2020), erosi tanah, dan sedimentasi yang tinggi (Aneseyee *et al.* 2020).

Prediksi Penggunaan Lahan

Hasil prediksi penggunaan lahan DAS Batang tabir tahun 2030 memiliki validasi indeks kappa sebesar 0,73. Hasil prediksi penggunaan lahan tahun 2030 ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 6



Gambar (Figure) 3. Peta prediksi penggunaan lahan DAS Batang Tabir tahun 2030 (Prediction Land use map of Batang Tabir watershed area in 2030)

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

Tabel (Table) 6. Perubahan penggunaan lahan tahun 2011-2030 (Landuse change in 2011-2030)

Penggunaan Lahan (Land use)	2011		2030		Perubahan 2011-2030 (Change of 2011-2030)	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Badan Air	737,5	0,68	737,46	0,68	0,00	0,00
Hutan Primer	16479,3	15,11	10482,3	9,61	-5996,99	-5,50
Hutan Sekunder	59455,8	54,51	61733,25	56,6	2277,44	2,09
Lahan Terbangun	495,4	0,45	669,69	0,61	174,33	0,16
Pertanian	26324,4	24,14	30029,67	27,53	3705,30	3,40
Tanah Terbuka	1056,2	0,97	2417,83	2,22	1361,61	1,25
Sawah	429,8	0,39	292,39	0,27	-137,44	-0,13
Semak Belukar	4085,0	3,75	2700,81	2,48	-1384,23	-1,27

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

Prediksi penggunaan lahan tahun 2030 juga menunjukkan tren serupa dengan tiga periode sebelumnya (2011-2019). Berdasarkan hasil analisis, hutan primer di tahun 2030 turun menjadi 10593,23 ha atau 9,61%. Begitu pula dengan badan air, tanah terbuka, sawah, dan semak belukar yang masing-masing menjadi 737,19 ha, 2419,83 ha, 292,95 ha, dan 2700,81 ha. Sedangkan lahan pertanian, lahan terbangun, dan hutan sekunder mengalami peningkatan luas yang masing-masing menjadi 30029,68 ha, 669,69 ha, dan 61733,25 ha. Pada tahun 2030 menunjukkan bahwa kawasan pertanian meningkat sebesar 3,40% dan hutan primer mengalami penurunan sebesar 5,50%.

Analisis ANN menggambarkan penggunaan lahan dari satu periode ke periode berikutnya untuk memproyeksikan perubahan di masa depan. Hal ini memberikan matriks probabilitas untuk setiap peralihan penggunaan lahan ke jenis penggunaan lahan lain, khususnya untuk hutan primer yang memiliki kemungkinan besar untuk diubah menjadi hutan sekunder, pertanian, tanah terbuka, dan semak belukar, seperti disajikan pada Lampiran 3. Antara tahun 2011 dan 2030, luas lahan hutan primer, sawah, dan semak belukar kemungkinan besar akan diambil alih oleh lahan pertanian. Temuan penelitian ini konsisten dengan Regas & None (2022) dan Regas *et al.* (2021), yang menunjukkan bahwa perluasan pertanian di masa depan mungkin terjadi. Ketika populasi meningkat, permintaan akan infrastruktur dan tekanan terhadap sumber daya alam akan meningkat karena

keadaan yang luar biasa (Amsalu *et al.* 2007, Kamran *et al.* 2023).

IV. KESIMPULAN

Penggunaan lahan di DAS Batang Tabir menunjukkan terjadinya perubahan penggunaan lahan selama periode tahun 2011 sampai tahun 2019. Hutan sekunder, lahan terbangun, pertanian, dan tanah terbuka mengalami peningkatan luas, sedangkan hutan primer, sawah, dan semak belukar terus mengalami penurunan. Hasil uji akurasi tergolong bagus sehingga dapat menggambarkan kondisi sebenarnya dengan nilai rata-rata *Kappa Accuracy* (KA) sebesar 0,80. Berdasarkan hasil uji akurasi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang baik.

Lahan terbangun, pertanian dan hutan sekunder pada tahun 2030 diprediksi akan mengalami peningkatan luasan. Sedangkan penurunan luasan terjadi pada hutan primer, sawah, semak belukar, dan tanah terbuka. Prediksi penggunaan lahan tahun 2030 di DAS Batang Tabir memiliki validasi indeks kappa sebesar 0,73. Trend perubahan penggunaan lahan di DAS Batang tabir menunjukkan adanya perubahan penggunaan lahan terutama terjadi penurunan luasan hutan primer sehingga perlu adanya pengawasan dan peraturan yang tegas dari pemerintah serta kesadaran masyarakat untuk saling menjaga kawasan di DAS Batang Tabir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diterima dari Balai

Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Batanghari yang selalu mendukung semua data yang dibutuhkan Wirdatul Awaliyah Haryani. Wirdatul Awaliyah Haryani juga mengucapkan terima kasih kepada semua pembimbing atas segala kebaikan, kesabaran, dan sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amsalu, A., Stroosnijder L., Graaff, J de. (2007). Long-term dynamics in land resource use and the driving forces in the Beressa watershed, highlands of Ethiopia. *J. Environ Manag.* 83 (4).
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Ed revisi 2010. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Austin, K. G., Schwantes, A., Gu, Y., Kasibhatla, P. S. (2019). What causes deforestation in Indonesia?
- Aneseyee, A. B., Elias, E., Soromessa, T., Feyisa G. L. (2020). Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia, *Sci. Environ.*
- Basse, R. M., Omrani, H., Charif, O., Gerber, P., Bodis, K. (2014). Land use changes modelling using advance methods: cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale. *Applied Geography*, 53: 160-170.
- Beshir, S., Moges, A., Dananto, M. (2023). Trend analysis, past dynamics and future prediction of land use and land cover change in upper Wabe-Shebele river basin. *Heliyon*.
- [BPDASHL] Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Batanghari.
- (2010). Penyusunan rencana pengelolaan DAS Batanghari terpadu. Jambi (ID).
- [BWS] Balai Wilayah Sungai Sumatera VI. (2012). Pola pengelolaan sumberdaya air wilayah sungai Batanghari. Jambi (ID).
- Eastman, J. R. (2016). Terr.Set Geospatial Monitoring and Modeling System. www.clarklabs.org.
- Gharaibeh, A., Shaamala, A., Rasha, O., Al-Kofahi, S. (2020). Improving land use change modelling by integrating ANN with cellular Automata-Markov Chain Model. *Heliyon*.
- Getachew, N & Meten, M. (2021). Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-gebro locality, gundomeskelarea, central Ethiopia. *Geoenvirom Disasters* 8 (6), 2–22.
- Hardiani. (2014). Dinamika penduduk kabupaten/kota di Provinsi Jambi. *Jurnal Perspektif Pembangunan Daerah* 2(2).
- Hardjowigeno, S., & Widiatmaka. (2007). *Evaluasi kesesuaian lahan dan perencanaan tata guna lahan*. Yogyakarta (ID): Gadjah MadaUniversity Press.
- Hatami, M., & Shafierdekani, M. (2014). The effect of industrialization on land use change: evidence from intermediate Cities of Iran. *Int J Curr LIFE Sci ISSN.* 4 (12): 11899-11902.
- Harvini, W. (2017). Uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan dengan menggunakan metode defuzzifikasi maximum likelihood berbasis Citra ALOS AVNIR-2. *Bhumi*. Vol 3 (1).
- Jupiardi, P., Hidayat, Y., Rachman, L. M. (2022). Analisis perubahan penggunaan lahan daerah tangkapan air Danau

- Kerinci. *JPPDAS*. 77-86.
- Kamran, Khan, J. A., Khayyam, U., Waheed, A., Khokhar, M. F. (2023). Exploring the nexus between land use land cover (LULC) changes and population growth in a planned city of islamabad and unplanned city of Rawalpindi, Pakistan. *Heliyon* 9 (2).
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C., & Xu, J. (2001). The causes of land use and land cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261–269.
- Mahyuddin, M., Sugianto, S., Alvisyahrin, T. (2013). Analisis tutupan lahan kawasan hutan pada daerah aliran sungai Kreung Aceh pra dan pasca tsunami. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 2(3), 296-303.
- Mhawish, Y. M., & Saba, M. (2016). Impact of population growth on land use changes in Wadi Ziqlab of Jordan between 1952 and 2008. *Int J Appl Sociol*. 6 (1): 7-14.
- Nugroho, S. P., Tarigan, S. D., Hidayat, Y. (2018). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Debit Aliran di Sub DAS Citatih. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2): 258-263.
- Pawitan, H. (2004). Perubahan penggunaan lahan dan pengaruhnya terhadap hidrologi daerah aliran sungai. Laboratorium Hidrometeorologi FMIPA. Institut Pertanian Bogor. Bogor (ID).
- Poursanidis, D., Chrysoulakis, N., Mitraka, Z. (2015). Landsat 8 vs. Landsat 5: A Comparison Based on Urban and Peri-Urban Land Cover Mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol 35, Part B: 259-269.
- Regasa, M. S., & Nones, M. (2022). Past and future land use/land cover changes in the Ethiopian fincha sub-basin. *Land* 11 (8).
- Regasa, M. S., Nones, M., Adeba, D. (2021). A review on land use and land cover change in ethiopian basins. *Land* 10 (6).
- Septiani, R., Citra, P., Nugroho, A. (2019). Perbandingan metode supervised classification dan unsupervised classification terhadap penutup lahan di Kabupaten Buleleng. *J. Geo*. Vol 16 (2) 90-96.
- Spruce, J., Bolten, J., Mohammed, I.N., Srinivasan, R., Lakshmi, V. (2020). Mapping land use land cover change in the Lower Mekong Basin from 1997 to 2010. *Frontiers in environmental science* 8, 21.
- Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F, Rasyid, E. S. (2021). Land use change, urban agglomeration, and urban sprawl: a sustainable development perspective of Makasar City, Indonesia. *Land*. 10 (556): 1-31.
- Susiwidiyaliza. (2015). Kajian Dampak Ekspansi Perkebunan Kelapa Sawit Terhadap Fungsi Hidrologi DAS Batang Tabir Menggunakan Model SWAT. [Tesis]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor (ID).
- Tang, W., & Yang, J. (2020). Agent-based land change modeling of a large watershed: space-time locations of critical threshold. *J. Artif. Soc. Simulat*.
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver Agreement: The kappa statistic. *Family*

Medicine. Vol 37 (5): 360-363.

Wei, H., Deng, Y., Lin, L., Wang, J., Huang, J. (2023). Improved soil composition promotes nutrient recovery during vegetation restoration in karst peak-cluster depressions. *Catena*.

Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgen, H., Bekele, B. (2017). Land Use/Land Cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, the Su-Xi-Chang region. *Sustainability*.

LAMPIRAN

Lampiran (Attachment) 1. Matriks kesalahan hasil klasifikasi penggunaan lahan tahun 2011, 2015, 2019
(Confusion matrix of land use 102classification for 2011, 2015, 2019)

Kelas Penggunaan Lahan 2011	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Badan air (1)	1								1
Hutan Primer (2)		15							15
Hutan sekunder (3)			47		3			4	54
Lahan terbangun (4)				1					1
Pertanian (5)		4			18	1		1	24
Lanah terbuka (6)						1			1
Sawah (7)							1		1
Semak belukar (8)								3	3
Total	1	19	47	1	21	2	1	8	100
Overall Accuracy	0,87								
Koefisien kappa	0,80								
Kelas Penggunaan Lahan 2015	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Badan air (1)	1								1
Hutan Primer (2)		13							13
Hutan sekunder (3)			51		2			3	56
Lahan terbangun (4)				1					1
Pertanian (5)			3		19	1		1	24
Lanah terbuka (6)						1			1
Sawah (7)							1		1
Semak belukar (8)								3	3
Total	1	13	54	1	21	2	1	7	100
Overall Accuracy	0,88								
Koefisien kappa	0,81								
Kelas Penggunaan Lahan 2019	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Badan air (1)	1								1
Hutan Primer (2)		10							10
Hutan sekunder (3)			49		4			3	56
Lahan terbangun (4)				1					1
Pertanian (5)			4		21	2			27
Lanah terbuka (6)						2			2
Sawah (7)							1		1
Semak belukar (8)								2	2
Total	1	10	53	1	25	4	1	5	100
Overall Accuracy	0,87								
Koefisien kappa	0,79								

	Klasifikasi yang benar (Correct classification)
	Klasifikasi yang salah (Wrong classification)

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

Lampiran (Attachment) 2. Matriks perubahan penggunaan lahan dari tahun 2011-2015, 2015-2019, 2011-2019
(Matrix land-use change for 2011-2015, 2015-2019, 2011-2019)

	PL	2015 (Ha)								Total (Ha)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
PL 2011 (Ha)	1	737,46								737,46
	2		14188,67	2161,29		99,39	29,63		0,31	16479,29
	3			59120,30	4,52	294,22	2,17	0,10	34,50	59455,81
	4				495,36					495,36
	5			67,59	26,92	25959,05	113,60	25,53	131,68	26324,37
	6			0,51	14,26	70,23	964,96	2,52	3,74	1056,22
	7			0,04		42,94	35,35	342,83	8,67	429,83
	8			13,80	5,00	35,07	4,21	1,71	4025,25	4085,04
	Total (Ha)	737,46	14188,67	61363,53	546,07	26500,90	1149,91	372,69	4204,14	109063,4
PL 2015 (Ha)	PL	2019 (Ha)								Total (Ha)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	737,46								737,46
	2		10593,24	3487,12		96,01	7,12		5,18	14188,67
	3			50457,14	26,21	9599,91	883,82		396,46	61363,53
	4				546,07					546,07
	5			7251,55	77,19	16406,9	1086,21		1678,99	26500,9
	6			196,77	8,41	626,54	156,71		161,48	1149,91
	7					64,4	0,44	292,96	14,85	372,69
	8			291,35	3,4	3080,4	344,47		484,45	4204,14
	Total (Ha)	737,46	10593,24	61683,94	661,31	29874,29	2478,76	292,96	2741,40	109063,4
PL2011 (Ha)	PL	2019 (Ha)								Total (Ha)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	737,46								737,46
	2		10593,24	5722,86		146,17	10,95		6,06	16479,28
	3			48560,53	30,73	9587,25	882,38	0,1	394,82	59455,81
	4				495,36					495,36
	5			6902,26	108,82	16447,83	1119,51	22,55	1723,4	26324,37
	6			212,3	18,14	565,91	131,33	2,52	126,02	1056,22
	7					113,23	6,45	266,11	44,04	429,83
	8			285,99	8,27	3013,89	328,14	1,69	447,07	4085,05
	Total (Ha)	737,46	10593,24	61683,94	661,31	29874,29	2478,76	292,96	2741,40	109063,4

Keterangan (remarks): Jenis Penggunaan Lahan (PL)= 1. Badan air, 2. Hutan primer, 3. Hutan sekunder, 4. Lahan terbangun, 5. Pertanian, 6. Tanah terbuka, 7. Sawah, 8. Semak belukar. (Note: type of land use (PL)= 1. Water body, 2. Primary forest, 3. Secondary forest, 4. Built-up land, 5. Agriculture, 6. Open land, 7. Ricefield, 8. Shrubs).

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

Lampiran (Attachment) 3. Matriks perubahan penggunaan lahan tahun 2011-2030 (*Matrix land-use change for 2011-2030*)

PL 2011 (Ha)	PL	2030 (Ha)								Total (Ha)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	737,46								737,46
	2		10482,3	5836,99		146,17	7,78		6,05	16479,30
	3			48523,13	30,73	9607,20	895,09	0,10	399,56	59455,81
	4				495,36					495,36
	5			6873,36	116,25	16460,73	1123,47	22,55	1728,03	26324,38
	6			210,86	20,41	566,36	129,98	2,52	126,09	1056,22
	7					113,23	11,44	261,12	44,04	429,83
	8			288,92	6,94	3135,97	250,07	6,11	397,04	4085,05
	Total (Ha)	737,46	10482,3	61733,25	669,69	30029,67	1149,91	292,39	4204,14	109063,4

Keterangan (*remarks*): Jenis Penggunaan Lahan (PL)= 1. Badan air, 2. Hutan primer, 3. Hutan sekunder, 4. Lahan terbangun, 5. Pertanian, 6. Tanah terbuka, 7. Sawah, 8. Semak belukar (*Note: type of land use (PL)= 1. Water body, 2. Primary forest, 3. Secondary forest, 4. Built-up land, 5. Agriculture, 6. Open land, 7. Ricefield, 8. Shrubs*).

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

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

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

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

- **GRAFIK/GAMBAR/FOTO :** Grafik, peta, dan ilustrasi lain yang berupa gambar garis harus kontras, diberi nomor urut. Judul beserta isinya ditulis dalam dua bahasa (Indonesia dan *Inggris dicetak miring*), diberi nomor urut. Judul gambar ditulis dengan ukuran 10 dengan huruf kapital pada awal kalimat. Grafik dapat diunggah secara terpisah (*supplementary materials*) dari file utama (naskah KTI) dalam format *MS Words* dengan memberi tanda posisi grafik pada naskah. Resolusi gambar minimal 300 dpi. Gambar dan judul diletakkan pada posisi tengah/center. Gambar harus mencantumkan sumber. Apabila gambar berasal dari foto koleksi pribadi maka dapat ditulis sebagai koleksi pribadi beserta tahun.
- **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



9 772579 609007