

**EVALUASI PENGELOLAAN DAERAH TANGKAPAN AIR (DTA)
SUNGAI HAJAWA BERBASIS PREDIKSI POLA PERGERAKAN
SEDIMEN DAN MODEL HIDRAULIKA DENGAN
PENGINDERAAN JAUH**

GUSTI IHDA MAZAYA

NIM. 2341213320007



**PROGRAM STUDI DOKTOR
ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARMASIN
2026**

**EVALUASI PENGELOLAAN DAERAH TANGKAPAN AIR (DTA)
SUNGAI HAJAWA BERBASIS PREDIKSI POLA PERGERAKAN
SEDIMEN DAN MODEL HIDRAULIKA DENGAN
PENGINDERAAN JAUH**

GUSTI IHDA MAZAYA

NIM. 2341213320007

DISERTASI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
DOKTOR Gusti Ihda Mazaya, S.T., M.T.
Prodi S3 Ilmu Lingkungan**

**PROGRAM STUDI DOKTOR
ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARMASIN
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI PENGELOLAAN DAERAH TANGKAPAN AIR (DTA) SUNGAI HAJAWA BERBASIS PREDIKSI POLA PERGERAKAN SEDIMEN DAN MODEL HIDRAULIKA DENGAN PENGINDERAAN JAUH

GUSTI IHDA MAZAYA

NIM. 2341213320007

disetujui

Komisi Pembimbing



Prof. Dr-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., AER.
Ketua



Dr. Ir. Rony Riduan, S.T., M.T.
Anggota I



Prof. Ichsan Ridwan, S.Si., M.Kom
Anggota II

diketahui,

Direktur Pascasarjana ULM

Koordinator Prodi Doktor
Ilmu Lingkungan



Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si

Dr. Isna Syauqiah, S.T., M.T.

Tanggal Lulus

Tanggal Wisuda

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI:

**Evaluasi Pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Hajawa Berbasis
Prediksi Pola Pergerakan Sedimen dan Model Hidraulika dengan
Penginderaan Jauh**

Nama : Gusti Ihda Mazaya
NIM : 2341213320007
Program Studi : Program Doktor Ilmu Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Prof. Dr-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T.,
IPM., AER.
Anggota : Dr. Ir. Rony Riduan, S.T., M.T.
Anggota : Prof. Ichsan Ridwan, S.Si., M.Kom

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Mahmud., S.T., M.T
Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Novitasari., S.T., M.T
Dosen Penguji 3 : Dr. Badaruddin, S.Hut., M.P
Dosen Penguji Tamu : Prof. Dr. Ir. Slamet Imam Wahyudi, DEA

Tanggal Ujian : 18 Agustus 2026

SK Penguji : Keputusan Rektor Universitas Lambung
Mangkurat Nomor : 79/UN8.4 /DT.04.03/2026

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Gusti Ihda Mazaya
NIM : 2341213320007
Program studi : Ilmu Lingkungan
Fakultas : Program Pascasarjana
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Disertasi : **“Evaluasi Pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Hajawa Berbasis Prediksi Pola Pergerakan Sedimen dan Model Hidraulika dengan Penginderaan Jauh”**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/ acuan dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Disertasi ini hasil jiplakan, plagiasi maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarmasin, 24 Agustus 2026

Yang membuat



Gusti Ihda Mazaya
NIM 2341213320007

LEMBAR PERSEMBAHAN

Disertasi ini saya persembahkan untuk:

Ayahanda Tercinta H. Gusti Syahrani
*atas setiap doa yang tidak pernah putus, kasih sayang
yang tulus, serta pengorbanan yang tak ternilai.*

Ibunda Tercinta Hj. Nikmah
*atas setiap doa yang tidak pernah putus, kesabaran dan
dukungan dalam kelancaran kuliah saya*

Suami saya Noor Ikhwan
dan
anak-anak Tersayang
Muhammad Ihya Al Hafizh dan Ahmad Ihza Al Fatih
*yang menjadi sumber kekuatan, semangat, dan
kebahagiaan dalam setiap langkah perjuangan ini*

Almamater Universitas Lambung Mangkurat
tempat bertumbuhnya ilmu, integritas, dan pengabdian

*“Semoga setiap Langkah kecil dalam penelitian ini
menjadi bagian dari ikhtiar menjaga alam sebagai
Amanah bagi generasi yang akan datang”*

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Gusti Ihda Mazaya, lahir di Banjarmasin pada tanggal 05 Oktober 1992, merupakan anak tunggal, anak dari Bapak H. Gusti Syahrani dan Ibu Hj. Nikmah, bersekolah di SDN Semayap 1 Kotabaru lulus tahun 2004 kemudian lanjut ke SMPN 1 Kotabaru lulus tahun 2007 dan meneruskan ke SMAN 2 Kotabaru lulus tahun 2010. Selanjutnya, meneruskan pendidikan Sarjana di Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 2014, kemudian melanjutkan pendidikan Magister di Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November dan lulus pada tahun 2016 Pengalaman kerja sejak tahun 2016-sekarang sebagai Dosen di Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat.

Banjarmasin, Agustus 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Gusti Ihda Mazaya', written over a horizontal line.

Gusti Ihda Mazaya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., AER, selaku promotor, Bapak Dr. Ir. Rony Riduan, S.T., M.T, selaku ko-promotor dan Bapak Prof. Ichsan Ridwan, S.Si., M.Kom, selaku ko-promotor yang telah membimbing sampai penulis bisa menyelesaikan disertasi ini.
2. Koordinator dan Sekretaris serta seluruh staff Program studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat.
3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat dan seluruh staf Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat
4. Bapak Rektor Universitas Lambung Mangkurat, Bapak Dekan Fakultas dan Bapak Ketua Program Studi Universitas Lambung Mangkurat.
5. Rekan-rekan angkatan kelas yang telah memberi bantuan dan dorongan motivasi agar disertasi ini segera diselesaikan.
6. Sujud dan terima kasih yang dalam penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, serta seluruh keluarga atas doa-doa serta dukungan yang telah diberikan.
7. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada suami dan anak-anak saya tersayang yang menjadi sumber kekuatan dan semangat penulis.

Banjarmasin, Agustus 2026



Gusti Ihda Mazaya

RINGKASAN

Gusti Ihda Mazaya. NIM. 2341213320007. 2026. Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Lambung Mangkurat. Evaluasi Pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Hajawa Berbasis Prediksi Pola Pergerakan Sedimen dan Model Hidraulika dengan Penginderaan Jauh. Pembimbing: Prof. Dr-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., AER.; Dr. Ir. Rony Riduan, S.T., M.T.; Prof. Ichsan Ridwan, S.Si., M.Kom.

Banjarmasin, Agustus 2026. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting pola pergerakan dan distribusi sedimen pada Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Hajawa hingga menuju Waduk Riam Kanan berdasarkan penginderaan jauh dan pemodelan hidraulika; mengembangkan algoritma prediksi *Total Suspended Solids* (TSS) berbasis citra Sentinel-2A untuk meningkatkan akurasi estimasi konsentrasi sedimen tersuspensi; menganalisis tren perubahan *sediment load* pada Sungai Hajawa hingga menuju Waduk Riam Kanan berdasarkan analisis deret waktu dan integrasi penginderaan jauh serta pemodelan hidraulika; serta mengevaluasi efektivitas skenario pengelolaan DTA Sungai Hajawa dalam mengurangi erosi, transport sedimen, dan potensi sedimentasi menuju Waduk Riam Kanan. Penelitian ini diarahkan untuk memperoleh pemahaman terpadu mengenai hubungan antara perubahan penggunaan lahan, proses erosi, transport sedimen, dan deposisi sedimen pada sistem sungai dan waduk.

Penelitian dilaksanakan pada DTA Sungai Hajawa di Desa Rantau Balai dan Waduk Riam Kanan, Kecamatan Aranio, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. Metode penelitian menggunakan pendekatan integratif yang memanfaatkan data lapangan, citra Sentinel-2A, data hidrologi, penggunaan lahan, serta pemodelan hidraulika dan sedimentasi. Pengukuran TSS dilakukan pada enam titik pengamatan, yaitu tiga titik pada Sungai Hajawa (S1, S2, dan S3) dan tiga titik pada Waduk Riam Kanan (W1, W2, dan W3), yang selanjutnya digunakan untuk evaluasi algoritma estimasi TSS. Pengembangan algoritma dilakukan berdasarkan hubungan reflektansi spektral citra Sentinel-2A dengan konsentrasi TSS hasil pengukuran lapangan, kemudian diuji menggunakan parameter R^2 , RMSE, MAE, dan NSE. Analisis pola pergerakan sedimen pada sungai dilakukan menggunakan HEC-RAS, sedangkan distribusi dan akumulasi sedimentasi pada waduk dianalisis menggunakan EFDC. Tren *sediment load* dianalisis menggunakan uji Mann-Kendall dan Sen's Slope, sedangkan efektivitas pengelolaan DTA dievaluasi melalui perbandingan kondisi eksisting dengan skenario konservasi optimal pada area prioritas erosi. Integrasi penginderaan jauh, algoritma prediksi TSS, HEC-RAS, EFDC, analisis tren, dan skenario konservasi digunakan untuk memperoleh dasar evaluasi pengelolaan DTA Sungai Hajawa secara terpadu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Hajawa merupakan jalur utama transportasi sedimen menuju Waduk Riam Kanan, dengan konsentrasi TSS tertinggi sebesar 43 mg/L pada segmen sungai dan terendah sebesar 6 mg/L pada bagian tengah waduk. Hasil pemodelan HEC-RAS dan EFDC menunjukkan bahwa zona inlet dan transisi sungai–waduk merupakan area penting dalam proses transport dan deposisi sedimen akibat perubahan energi dan kecepatan

aliran. Algoritma prediksi TSS berbasis rasio band B5/B2 Sentinel-2A menghasilkan kinerja terbaik dengan R^2 sebesar 0,78, RMSE sebesar 7,19 mg/L, MAE sebesar 6,18 mg/L, dan NSE sebesar 0,84, sehingga mampu memberikan estimasi TSS yang representatif terhadap kondisi perairan wilayah penelitian. Analisis tren menunjukkan bahwa seluruh titik pengamatan berada pada kategori No Trend secara statistik ($p > 0,05$), tetapi sebagian besar menunjukkan kecenderungan peningkatan berdasarkan nilai Sen's Slope, dengan nilai tertinggi pada S2 sebesar 3,92 mg/L/tahun, S3 sebesar 3,38 mg/L/tahun, dan W1 sebesar 3,79 mg/L/tahun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa suplai sedimen dipengaruhi oleh fluktuasi hidrologi dan penggunaan lahan, sementara zona transisi sungai–waduk menjadi lokasi dominan deposisi sedimen. Evaluasi skenario menunjukkan bahwa Skenario 2 (Konservasi Optimal), melalui restorasi tutupan semak belukar menjadi hutan pada *hotspot* erosi, menghasilkan potensi reduksi *soil loss* paling besar dibandingkan kondisi eksisting, hingga 90–100% pada lokasi tertentu. Hasil simulasi juga menunjukkan perubahan dominasi tingkat erosi dari sedang–berat menjadi sangat ringan pada sebagian besar wilayah penelitian. Besaran tersebut merepresentasikan potensi reduksi berdasarkan asumsi model, bukan efektivitas implementasi konservasi aktual. Restorasi tutupan hutan pada area prioritas selanjutnya dapat menjadi strategi potensial dalam menekan erosi dan mengurangi suplai sedimen menuju Waduk Riam Kanan.

Kata kunci: Daerah Tangkapan Air; Sedimen; Sentinel-2A; HEC-RAS; EFDC

SUMMARY

Gusti Ihda Mazaya. Student ID. 2341213320007. 2026. Doctoral Program in Environmental Science, Graduate Program, Lambung Mangkurat University. Evaluation of Hajawa River Catchment Area Management Based on Sediment Movement Pattern Prediction and Hydraulic Modeling Using Remote Sensing. Advisors: Prof. Dr-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., AER.; Dr. Ir. Rony Riduan, S.T., M.T.; Prof. Ichsan Ridwan, S.Si., M.Kom.

Banjarmasin, August 2026. This study aimed to analyze the existing sediment movement and distribution patterns in the Hajawa River Catchment Area toward Riam Kanan Reservoir using remote sensing and hydraulic modeling; develop a Sentinel-2A-based Total Suspended Solids (TSS) prediction algorithm to improve the accuracy of suspended sediment concentration estimation; analyze trends in sediment load in the Hajawa River toward Riam Kanan Reservoir using time-series analysis and the integration of remote sensing and hydraulic modeling; and evaluate the effectiveness of catchment management scenarios in reducing erosion, sediment transport, and potential sedimentation toward Riam Kanan Reservoir. The study was designed to obtain an integrated understanding of the relationship between land-use changes, erosion processes, sediment transport, and sediment deposition within the river–reservoir system.

The study was conducted in the Hajawa River Catchment Area, Rantau Balai Village, and Riam Kanan Reservoir, Aranio District, Banjar Regency, South Kalimantan. An integrated approach was applied using field observations, Sentinel-2A imagery, hydrological data, land-use data, hydraulic modeling, and sedimentation modeling. TSS measurements were conducted at six observation points, consisting of three points in the Hajawa River (S1, S2, and S3) and three points in Riam Kanan Reservoir (W1, W2, and W3), which were subsequently used to evaluate the TSS estimation algorithm. The algorithm was developed based on the relationship between Sentinel-2A spectral reflectance and field-measured TSS concentrations and was evaluated using R^2 , RMSE, MAE, and NSE. Sediment movement in the river was analyzed using HEC-RAS, while sediment distribution and accumulation in the reservoir were analyzed using EFDC. Sediment load trends were evaluated using the Mann-Kendall test and Sen's Slope, while management effectiveness was assessed by comparing the existing condition with an optimal conservation scenario in erosion-priority areas.

The results showed that the Hajawa River is a major sediment transport pathway toward Riam Kanan Reservoir, with the highest TSS concentration of 43 mg/L occurring in the river segment and the lowest concentration of 6 mg/L occurring in the middle part of the reservoir. HEC-RAS and EFDC modeling indicated that the reservoir inlet and river–reservoir transition zone are important areas for sediment transport and deposition due to changes in flow energy and velocity. The Sentinel-2A B5/B2 band-ratio-based TSS prediction algorithm achieved an R^2 of 0.78, RMSE of 7.19, mg/L, MAE of 6.18 mg/L, and NSE of 0.84, indicating representative TSS estimation performance for the study area. Trend analysis showed that all observation points were statistically classified as No Trend ($p > 0.05$), although most points exhibited an increasing tendency based on Sen's

Slope, with the highest values at S2 of 3.92 mg/L/year, S3 of 3.38 mg/L/year, and W1 of 3.79 mg/L/year. The sediment supply was influenced by hydrological fluctuations and land-use conditions, while the river-reservoir transition zone functioned as a dominant sediment deposition area. Scenario evaluation showed that Scenario 2 (Optimal Conservation), through the restoration of shrubland to forest cover in erosion *hotspots*, produced the greatest potential reduction in *soil loss* compared with the existing condition, reaching 90–100% at certain locations. The simulation results also indicated a shift in the dominant erosion classes from moderate–severe to very low across most of the study area. This reduction represents the potential response under the model assumptions and does not directly reflect the effectiveness of actual conservation implementation. Forest cover restoration in priority areas may therefore serve as a potential strategy for reducing erosion and sediment supply to the Riam Kanan Reservoir.

Keywords: Catchment Area; Sediment; Sentinel-2A; HEC-RAS; EFDC

Known by,
Dissertation Supervisor



Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., AER.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat, karunia, dan perkenan-Nya, penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul **“Evaluasi Pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Hajawa Berbasis Prediksi Pola Pergerakan Sedimen dan Model Hidraulika dengan Penginderaan Jauh”** dengan baik.

Disertasi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan. Penelitian ini mengkaji kondisi pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Hajawa melalui pendekatan yang mengintegrasikan penginderaan jauh, analisis pola pergerakan sedimen, dan pemodelan hidraulika. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi dinamika sedimentasi, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perubahan kondisi DTA, serta merumuskan rekomendasi strategi pengelolaan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengelolaan sumber daya air dan lingkungan, sekaligus menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan pengelolaan daerah tangkapan air.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih memiliki berbagai keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang ilmu lingkungan, serta menjadi referensi bagi akademisi, peneliti, praktisi, dan para pengambil kebijakan dalam pengelolaan daerah tangkapan air yang berkelanjutan.

Akhirnya, semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan ridha-Nya kepada kita semua. Amin Ya Rabbal 'Alamin.

Wassalam

Banjarmasin, Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	7
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Manfaat Penelitian	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Konsep Dasar Daerah Aliran Sungai (DAS).....	10
2.2. Waduk dan Sedimentasi Waduk	11
2.3. Sedimen dan Sedimentasi	13
2.4. Sedimen Tersuspensi (TSS)	17
2.5. Angkutan Sedimen Sungai	20
2.6. Erosi dan Deposisi Pada Sistem Sungai.....	23
2.7. Analisis Hidrologi	26
2.8. Pemodelan Hidraulika Sungai (HEC-RAS)	28
2.9. Pemodelan Hidrodinamika Waduk (EFDC)	35
2.10. Penginderaan Jauh.....	37
2.9.1. Konsep Dasar Penginderaan Jauh	37
2.9.2. Satelit Sentinel-2A dan karakteristik band-nya.....	39
2.9.3. <i>Modified Normalized Difference Water Index</i> (MNDWI)	45
2.9.4. <i>Google Earth Engine</i> (GEE)	46
2.10. Kalibrasi dan Validasi Model.....	49
III. KERANGKA PEMIKIRAN.....	53
3.1. Landasan Teori.....	53

3.1.1. Teori Sistem Daerah Aliran Sungai (DAS).....	53
3.1.2. Teori Neraca Sedimen (<i>Sediment Budget</i>)	55
3.1.3. Teori Energi Aliran dan Daya Sungai (<i>Stream Power Theory</i>)	56
3.1.4. Teori Reflektansi Spektral dan Model Bio-Optik Perairan	56
3.1.5. Teori Pemodelan Numerik Hidrodinamika	57
3.1.6. Teori Respons Hidrologi terhadap Perubahan Penggunaan Lahan	58
3.2. Kerangka Konsep Pemikiran.....	58
3.3. Hipotesis Penelitian.....	62
3.4. Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian	63
3.5. Kerangka Analisis Penelitian	64
3.6. Definisi Operasional Variabel dan Pengukuran Variabel	69
3.7. Kebaharuan (<i>Novelty</i>) Penelitian.....	70
IV. METODE PENELITIAN.....	71
4.1. Metode Penelitian.....	71
4.2. Pengumpulan Data	71
4.2.1. Data Primer.....	71
4.2.2. Data Sekunder	75
4.3. Lokasi Penelitian	77
4.4. Analisis Data	79
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	84
5.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian.....	84
5.2. Karakteristik Morfometri DAS dan Sungai	89
5.3. Analisis Hidrologi	93
5.3.1. Curah Hujan	93
5.3.2. Debit Sungai	96
5.4. Analisis Hidraulika Sungai	99
5.4.1. Kecepatan Aliran.....	100
5.4.2. Hasil Model Penampang Sungai (HEC-RAS).....	102
5.5. Analisis Sedimen Tersuspensi.....	106
5.5.1. Pengukuran In Situ TSS	107
5.5.2. Karakteristik Sedimen Sungai	109
5.5.3. Karakteristik Sedimen Waduk.....	114
5.5.4. Pola Sebaran Sedimen Sungai dan Waduk.....	121
5.6. Pengembangan dan Validasi Algoritma Prediksi Sedimen.....	130
5.6.1. Analisis Sensitivitas Band Spektral Sentinel-2	131

5.6.2. Evaluasi Algoritma Eksisting.....	133
5.6.3. Formulasi Algoritma Modifikasi / Algoritma Baru	139
5.6.4. Uji Akurasi (RMSE, MAE, R ² , NSE)	140
5.7. Permodelan Transportasi Sedimen Sungai (HEC-RAS).....	144
5.8. Permodelan Sedimentasi Waduk (EFDC).....	150
5.9. Analisis Tren <i>Sediment Load</i>	160
5.9.1. Tren Historis Sediment Load 2020–2025	161
5.9.2. Proyeksi Tren Sediment Load 2026–2030	162
5.9.3. Interpretasi Mann-Kendall dan Sen's Slope.....	164
5.10. Analisis Pengelolaan Tata Guna Lahan dan Skenario	168
5.10.1. Karakteristik Tanah dan Kaitannya dengan Erosi dan Sedimentasi	169
5.10.2. Penggunaan Lahan Berdasarkan RTRW	172
5.10.3. Kondisi Eksisting Penggunaan Lahan Lahan.....	175
5.10.4. Penyusunan Skenario Tata Guna Lahan.....	178
5.10.5. Analisis Efektivitas dan Perbandingan Antar Skenario	181
VI. IMPLIKASI HASIL PENELITIAN	187
6.1. Implikasi Teoritis	187
6.2. Implikasi Praktis.....	189
VII. PENUTUP	192
7.1. Kesimpulan	192
7.2. Saran.....	193
DAFTAR PUSTAKA.....	195
LAMPIRAN.....	215

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembagian Kelas Konsentrasi Sedimen Tersuspensi.....	19
Tabel 2.2	Karakteristik Band Citra Sentinel-2A	44
Tabel 3.1	Definisi Operasional Variabel	69
Tabel 4.1	Kebutuhan Data Primer dan Sekunder	75
Tabel 5.1	Dasar Pemilihan Lokasi Pengukuran Debit Sungai	97
Tabel 5.2	Kecepatan Aliran.....	100
Tabel 5.3	Hasil Pengukuran In Situ Sedimen Tersuspensi	107
Tabel 5.4	Evaluasi Algoritma Eksisting.....	134
Tabel 5.5	Perbandingan Performa 7 Algoritma Terpilih di Wilayah Studi.....	137
Tabel 5.6	Formulasi Persamaan Algoritma TSS	140
Tabel 5.7	Hasil Validasi Algoritma Modifikasi	143
Tabel 5.8	Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Sungai Hajawa	145
Tabel 5.9	Distribusi Angkutan sedimen sungai Sungai Hajawa	146
Tabel 5.10	Hasil Validasi Nilai Sedimen Tersuspensi dengan RMSE.....	152
Tabel 5.11	Hasil Uji <i>Mann-Kendall</i> dan <i>Sen's Slope</i>	165
Tabel 5.12	Luasan Tutupan Lahan Kabupaten Banjar	172
Tabel 5.13	Perbandingan <i>Soil Loss</i> Kondisi Eksisting dan Konservasi.....	182

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Kerangka Analisis Penelitian	66
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian	78
Gambar 4.2	Lokasi Titik Sampling	79
Gambar 5.1	Peta Administrasi Kabupaten Banjar.....	85
Gambar 5.2	Curah Hujan Bulanan tahun 2021-2025	94
Gambar 5.3	Debit Sungai Hajawa.....	98
Gambar 5.4	Kecepatan Aliran Sungai Hajawa.....	101
Gambar 5.5	Hasil Model Penampang Sungai (a) Titik 1, (b) Titik 2,	104
Gambar 5.6	Distibusi Ukuran Butir pada Sungai Hajawa (a) S1, (b) S2, dan (c) S3.....	110
Gambar 5.7	Distibusi Ukuran Butir pada Waduk (a) W1, (b) W2, dan (c) W3.....	116
Gambar 5.8	Sebaran Sedimen Tersuspensi Di Sungai Hajawa (a) 2019; (b) 2020; (c) 2021; (d) 2022; (e) 2023; (f) 2024	123
Gambar 5.9	Sebaran Sedimen Tersuspensi Di Waduk tahun 2019-2024	127
Gambar 5.10	Hasil Simulasi Model HECRAS	147
Gambar 5.11	Perubahan Kumulatif Neraca Massa Sedimen Sungai Hajawa...	148
Gambar 5.12	Tren Perubahan Sedimentasi Di Waduk Riam Kanan (a) Juni; (b) Juli; (c) Agustus; (d) September; (e) Oktober;	157
Gambar 5.13	Tren historis <i>sediment load</i> Sungai Hajawa periode 2020–2025	161
Gambar 5.14	Proyeksi Tren <i>sediment load</i> Sungai Hajawa periode 2026-2030.....	162
Gambar 5.15	Karakteristik Tanah Di Sekitar DTA Sungai Hajawa	169
Gambar 5.16	Peta Tutupan Lahan Kabupaten Banjar	174
Gambar 5.17	Kondisi Eksisting Penggunaan Lahan di Tahun 2024.....	175
Gambar 5.18	Simulasi Hasil <i>Soil Loss</i> berdasarkan <i>Google Earth Engine</i>	182
Gambar 5.19	<i>Soil Loss</i> Skenario 1 dan Skenario 2	184

DAFTAR LAMPIRAN

A.	Data Hasil Penelitian	217
	A.1. Data Kualitas Air Sungai	217
	A.2. Data Kualitas Air Waduk	220
	A.3. Data Sedimen	223
	A.4. Hasil Simulasi Kapasitas Penampang Sungai	232
B.	Metode Analisis.....	245
	B.1. Prosedur Sampling	245
	B.2. Prosedur Uji	246
C.	Dokumentasi Penelitian	249
	C.1. Publikasi Ilmiah	254
D.	Log Book Penelitian	254

DAFTAR ISTILAH

Absorbansi	Ukuran kemampuan suatu material atau media perairan dalam menyerap energi radiasi pada panjang gelombang tertentu. Dalam penelitian ini digunakan sebagai bagian dari pendekatan pengembangan algoritma prediksi TSS berbasis karakteristik optik perairan.
Algoritma Prediksi TSS	Persamaan matematis yang dikembangkan untuk mengestimasi konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) berdasarkan hubungan antara reflektansi spektral citra Sentinel-2A dan hasil pengukuran TSS lapangan.
AWLR (<i>Automatic Water Level Recorder</i>)	Alat pencatat muka air secara otomatis yang dapat digunakan untuk memperoleh data hidrologi sungai secara kontinu.
Bathimetri	Pengukuran dan pemetaan kedalaman serta bentuk dasar suatu badan air, termasuk waduk.
Band Spektral	Kanal atau rentang panjang gelombang tertentu pada sensor satelit yang digunakan untuk merekam karakteristik objek di permukaan bumi.
B2 (<i>Blue</i>)	Kanal biru pada Sentinel-2A yang berada pada wilayah spektrum tampak dan digunakan dalam analisis karakteristik optik perairan serta formulasi rasio band.
B5 (<i>Red Edge</i>)	Kanal red-edge pada Sentinel-2A yang sensitif terhadap karakteristik vegetasi dan material tersuspensi serta digunakan dalam algoritma prediksi TSS penelitian.
Bio-Optik Perairan	Kajian hubungan antara sifat optik perairan dengan karakteristik material yang terdapat di dalam kolom air, termasuk sedimen tersuspensi.
Citra Multispektral	Citra penginderaan jauh yang merekam objek pada beberapa rentang panjang gelombang atau kanal spektral.
Konsentrasi TSS	Jumlah material padatan tersuspensi yang terdapat dalam volume tertentu air dan dinyatakan dalam mg/L.
DAS (Daerah Aliran Sungai)	Wilayah daratan yang dibatasi oleh topografi tertentu dan seluruh limpasan airnya mengalir melalui jaringan sungai menuju satu outlet.
DTA (Daerah Tangkapan Air)	Wilayah yang berfungsi menangkap, menyimpan, menginfiltrasikan, dan mengalirkan air serta material sedimen menuju sistem sungai atau badan air penerima.

Deposisi Sedimen	Proses pengendapan material sedimen ketika energi dan kapasitas angkut aliran menurun.
EFDC (<i>Environmental Fluid Dynamics Code</i>)	Model numerik hidrodinamika yang digunakan untuk mensimulasikan dinamika aliran, distribusi, transportasi, dan deposisi sedimen pada badan air, termasuk waduk.
Erosi	Proses pelepasan dan pengangkutan partikel tanah dari permukaan lahan oleh air, angin, atau proses lainnya.
Erosi Permukaan	Proses pelepasan dan pengangkutan partikel tanah secara relatif merata dari permukaan lahan akibat energi air hujan dan limpasan permukaan.
<i>Google Earth Engine</i> (GEE)	Platform komputasi awan yang digunakan untuk pengolahan dan analisis data geospasial serta citra satelit dalam skala besar dan multitemporal.
HEC-RAS (<i>Hydrologic Engineering Center – River Analysis System</i>)	Model numerik yang digunakan untuk menganalisis karakteristik hidraulika sungai, termasuk kecepatan aliran, kapasitas angkut sedimen, erosi, deposisi, dan perubahan dasar sungai.
Hidraulika Sungai	Kajian mengenai karakteristik aliran air dalam saluran atau sungai, termasuk debit, kecepatan, kedalaman, energi aliran, dan kondisi penampang.
Hidrodinamika	Kajian mengenai gerakan fluida dan interaksinya dengan kondisi fisik lingkungan perairan.
Hidrologi	Ilmu yang mempelajari kejadian, distribusi, pergerakan, dan karakteristik air di permukaan maupun bawah permukaan bumi.
Hotspot Erosi	Lokasi yang memiliki tingkat atau potensi kehilangan tanah relatif tinggi sehingga menjadi area prioritas dalam pengelolaan konservasi.
Infiltrasi	Proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam profil tanah.
Inlet Waduk	Zona masuknya aliran sungai ke dalam waduk yang menjadi lokasi penting dalam proses transisi aliran dan transportasi sedimen.
Kalibrasi Model	Proses penyesuaian parameter model agar hasil simulasi mendekati kondisi atau data hasil pengamatan lapangan.
Kecepatan Aliran	Laju pergerakan air dalam saluran sungai yang dinyatakan dalam satuan m/detik dan berpengaruh terhadap kemampuan aliran mengangkut sedimen.

Konservasi Optimal	Skenario pengelolaan DTA yang mengubah tutupan semak belukar pada area prioritas atau hotspot erosi menjadi tutupan hutan untuk menurunkan kehilangan tanah dan suplai sedimen.
Limpasan Permukaan (<i>Surface Runoff</i>)	Bagian air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah ketika intensitas hujan melebihi kemampuan infiltrasi tanah atau ketika tanah telah jenuh.
MAE (<i>Mean Absolute Error</i>)	Ukuran rata-rata nilai absolut kesalahan antara hasil prediksi atau estimasi model dengan data observasi.
Mann-Kendall	Uji statistik nonparametrik yang digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan atau tren dalam suatu deret waktu tanpa mensyaratkan distribusi data tertentu.
MNDWI (<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>)	Indeks yang digunakan untuk membedakan badan air dari objek daratan pada citra satelit dengan memanfaatkan kanal Green dan SWIR.
Model Hidraulika	Model matematis atau numerik yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik aliran air dan respons hidraulika pada sistem sungai atau badan air.
Model Numerik	Representasi matematis suatu sistem fisik yang diselesaikan menggunakan metode komputasi untuk menghasilkan simulasi kondisi atau proses tertentu.
NIR (<i>Near Infrared</i>)	Wilayah spektrum inframerah dekat yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengidentifikasi karakteristik objek, khususnya vegetasi dan material tersuspensi.
NSE (<i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i>)	Indikator statistik untuk mengevaluasi kemampuan model dalam merepresentasikan variasi data observasi. Dalam penelitian, nilai NSE sebesar 0,84 menunjukkan kinerja model sangat baik.
No Trend	Kategori hasil uji tren yang menunjukkan bahwa kecenderungan perubahan belum signifikan secara statistik. Dalam penelitian ditetapkan ketika hasil uji Mann-Kendall memiliki $p > 0,05$.
Penginderaan Jauh	Teknik memperoleh informasi mengenai objek atau kondisi permukaan bumi tanpa kontak langsung melalui sensor yang ditempatkan pada satelit atau wahana lainnya.
Penggunaan Lahan	Bentuk pemanfaatan atau fungsi suatu lahan, seperti hutan, perkebunan, pertanian, permukiman, semak belukar, dan penggunaan lainnya.

Perubahan Penggunaan Lahan	Perubahan bentuk atau fungsi pemanfaatan lahan dari satu kondisi ke kondisi lainnya dalam periode waktu tertentu.
Pola Pergerakan Sedimen	Dinamika arah, distribusi, transportasi, dan deposisi material sedimen sepanjang sistem sungai hingga badan air penerima.
Reflektansi Spektral	Proporsi energi radiasi yang dipantulkan oleh suatu objek pada panjang gelombang tertentu dan direkam oleh sensor satelit.
Reforestasi / Forest Restoration	Pemulihan tutupan hutan pada area yang sebelumnya mengalami perubahan atau degradasi tutupan lahan. Dalam penelitian diterapkan sebagai tindakan konservasi pada hotspot erosi.
RMSE (<i>Root Mean Square Error</i>)	Ukuran besarnya kesalahan rata-rata antara nilai hasil estimasi model dan nilai observasi dengan memberikan bobot lebih besar pada kesalahan yang besar.
R ² (Koefisien Determinasi)	Ukuran statistik yang menunjukkan proporsi variasi data observasi yang dapat dijelaskan oleh model atau hubungan yang dibangun.
<i>Sediment Budget</i> (Neraca Sedimen)	Konsep keseimbangan antara jumlah sedimen yang masuk, berpindah, tersimpan, dan keluar dari suatu sistem sungai atau badan air.
<i>Sediment Yield</i> (Hasil Sedimen)	Besarnya sedimen yang berasal dari proses erosi pada daerah tangkapan air dan terukur pada lokasi serta periode tertentu.
Sedimen	Material hasil pelapukan, erosi, dan proses geomorfologi yang dapat diangkut dan diendapkan oleh media air atau proses lainnya.
Sedimen Dasar (<i>Bed Load</i>)	Material sedimen berukuran relatif besar yang bergerak di dekat atau sepanjang dasar sungai melalui proses menggelinding, menyeret, atau saltasi.
Sedimen Tersuspensi (<i>Suspended Sediment</i>)	Partikel halus yang melayang dalam kolom air akibat pengaruh turbulensi dan karakteristik aliran.
Sedimentasi	Proses pengendapan material sedimen setelah mengalami transportasi ketika energi atau kapasitas angkut aliran menurun.
Sen's Slope	Estimator nonparametrik yang digunakan untuk menentukan besarnya kecenderungan perubahan atau kemiringan tren suatu deret waktu.

Sentinel-2A	Satelit penginderaan jauh multispektral yang menyediakan data resolusi spasial dan temporal untuk pemantauan permukaan bumi, termasuk kondisi perairan dan sedimen tersuspensi.
<i>Soil Loss</i>	Besarnya kehilangan tanah akibat proses erosi pada suatu area dalam periode tertentu, dalam penelitian dinyatakan dalam ton/ha/tahun.
<i>Stream Power Theory</i>	Teori yang menjelaskan hubungan antara energi atau daya aliran sungai dengan kemampuan aliran dalam melakukan erosi, transportasi, dan perubahan morfologi sungai.
<i>TSS (Total Suspended Solids)</i>	Konsentrasi total padatan yang tersuspensi dalam air, digunakan sebagai salah satu indikator keberadaan dan distribusi material sedimen tersuspensi.
Transport Sedimen	Proses perpindahan material sedimen dari sumbernya menuju lokasi lain melalui media aliran air.
Tutupan Lahan	Kondisi fisik penutup permukaan lahan, seperti vegetasi hutan, semak belukar, lahan terbuka, pertanian, dan penggunaan lainnya.
Variasi Spasial	Perbedaan karakteristik suatu parameter berdasarkan lokasi atau posisi geografis.
Variasi Temporal	Perubahan suatu parameter berdasarkan waktu atau periode pengamatan.
Waduk / Reservoir	Badan air buatan atau tampungan yang terbentuk melalui pembendungan sungai dan berfungsi menyimpan serta mengatur air untuk berbagai keperluan.
Zona Deposisi	Area tempat sedimen mengalami pengendapan akibat berkurangnya energi dan kapasitas angkut aliran.
Zona Inlet	Bagian awal waduk tempat aliran sungai memasuki badan waduk dan menjadi salah satu lokasi utama proses transportasi serta akumulasi sedimen.

DAFTAR NOTASI

S	:	Statistik Mann-Kendall
Z	:	Nilai statistik terstandarisasi Mann-Kendall
p	:	Nilai probabilitas (<i>p-value</i>)
α	:	Tingkat signifikansi
Q	:	Estimator kemiringan Sen (<i>Sen's Slope</i>)
Q _i	:	Kemiringan antara dua pasangan data
β	:	Nilai median kemiringan Sen
n	:	Jumlah data pengamatan
TSS	:	Konsentrasi Total Suspended Solids
Red	:	Reflektansi kanal merah
Green	:	Reflektansi kanal hijau
B2	:	Reflektansi kanal Blue
B5	:	Reflektansi kanal Red Edge
B5/B2	:	Rasio reflektansi Band 5 terhadap Band 2
exp	:	Fungsi eksponensial
ln	:	Logaritma natural
log	:	Logaritma
R ²	:	Koefisien determinasi model
RMSE	:	Akar rata-rata kuadrat kesalahan
MAE	:	Rata-rata nilai absolut kesalahan
NSE	:	Efisiensi Nash-Sutcliffe