

**EVALUASI DAERAH TANGKAPAN AIR BENDUNGAN WAY RAREM
TERHADAP SIMPANAN AIR WADUK BERBASIS CITRA LANDSAT**

(Skripsi)

Oleh

Fharay Ichlas Trianda



JURUSAN TEKNIK PERTANIAN

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

**EVALUASI DAERAH TANGKAPAN AIR BENDUNGAN WAY RAREM
TERHADAP SIMPANAN AIR WADUK BERBASIS CITRA LANDSAT**

Oleh
FHARAY ICHLAS TRIANDA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

EVALUASI DAERAH TANGKAPAN AIR BENDUNGAN WAY RAREM TERHADAP SIMPANAN AIR WADUK BERBASIS CITRA LANDSAT

Oleh

Fharay Ichlas Trianda

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi daerah tangkapan air. Penelitian ini mengevaluasi kondisi daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem terhadap simpanan air waduk menggunakan data penginderaan jauh dari citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI. Integrasi indeks NDVI dan NDWI digunakan untuk memetakan kerapatan vegetasi serta luas genangan air dari tahun 2009 hingga 2025. Hasil menunjukkan daerah tangkapan didominasi vegetasi sedang hingga tinggi dengan nilai NDVI rata-rata 0,26–0,37, sementara nilai NDWI –0,34 hingga –0,21 menandakan dominasi area tidak berair. Korelasi kuat antara NDVI dan NDWI ($R^2 = 0,719$) mengindikasikan bahwa kerapatan vegetasi memengaruhi sekitar 71,9% variasi kondisi kebasahan lahan. Volume simpanan air mencapai kapasitas maksimum pada 2020 sebesar 43,66 juta m³, kemudian menurun pada 2024–2025 akibat degradasi vegetasi dan sedimentasi. Temuan ini menegaskan pentingnya tutupan vegetasi dalam menjaga kapasitas tampungan air dan stabilitas hidrologi di daerah tangkapan Bendungan Way Rarem.

Kata Kunci: Citra landsat, Daerah tangkapan air, NDVI, NDWI, Simpanan air waduk, Way Rarem

ABSTRACT

EVALUATION OF THE WAY RAREM DAM CATCHMENT AREA ON RESERVOIR WATER STORAGE ON LANDSAT IMAGERY

By

Fharay Ichlas Trianda

This study evaluates the catchment condition of the Way Rarem Dam in relation to reservoir water storage using remote sensing data from Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI imagery. NDVI and NDWI integration was applied to map vegetation density and surface water extent from 2009 to 2025. Results indicate that the catchment area is dominated by medium to high vegetation density with average NDVI values of 0.26–0.37, while NDWI values ranging from –0.34 to –0.21 reflect predominantly non-water surfaces. A strong correlation between NDVI and NDWI ($R^2 = 0.719$) shows that vegetation density accounts for approximately 71.9% of NDWI variation. Reservoir storage peaked in 2020 at 43.66 million m³ and declined during 2024–2025 due to vegetation degradation and sedimentation. These findings highlight the crucial role of vegetation cover in maintaining water storage capacity and hydrological stability within the Way Rarem catchment area.

Keywords: Catchment area, Landsat imagery, NDVI, NDWI, Reservoir water storage, Way Rarem

Judul Skripsi

**Evaluasi Daerah Tangkapan Air Bendungan Way
Rarem Terhadap Simpanan Air Waduk Berbasis
Citra Landsat**

Nama Mahasiswa

Faray Ichlas Trianda

No. Pokok Mahasiswa

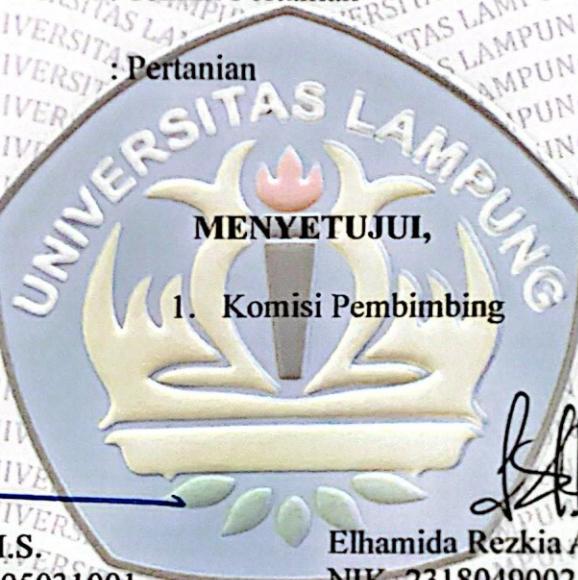
2154071003

Jurusan

Teknik Pertanian

Fakultas

Pertanian



**Dr. Ir. Ridwan, M.S.
NIP. 196511141995031001**

**Elhamida Rezkia Amien, S.T.P., M.Si.
NIK. 231804900214201**

MENGETAHUI,

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

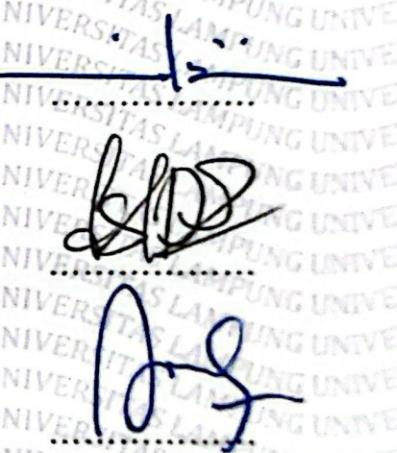
**Prof. Dr. Ir. Warji , S.TP., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001**

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua

: Dr. Ir. Ridwan, M.S.



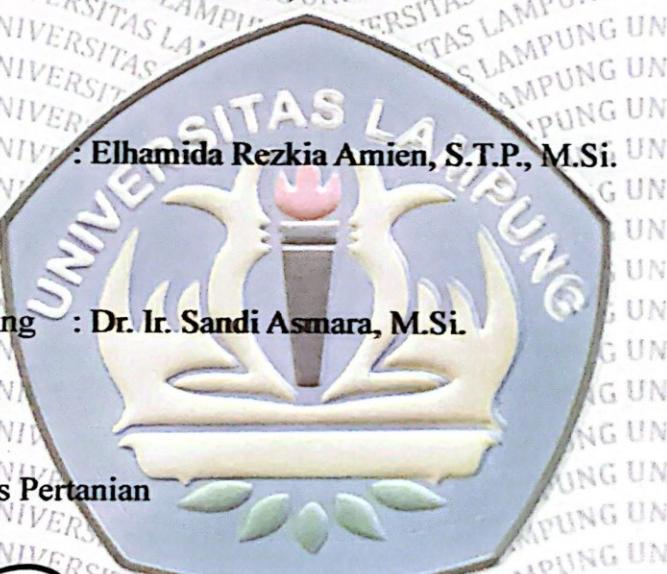
Sekretaris

Pengaji

: Elhamida Rezkia Amien, S.T.P., M.Si.



Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswana Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 3 November 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Fharay Ichlas Trianda NPM 2154071003**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh komisi pembimbing, 1) **Dr. Ir. Ridwan, M.S.** dan **Elhamida Rezkia Amien, S.T.P., M.Si.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 1 Desember 2025

Yang membuat pernyataan



Fharay Ichlas Trianda
NPM. 2154071003

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi pada tanggal 28 Mei 2004, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Harun Yusuf dan Ibu Ery Rahmawati. Pendidikan penulis diawali dari Taman Kanak-Kanak (TK) Istiqlal pada tahun 2009, Sekolah Dasar Negeri (SDN) 1 Sinar Harapan pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Sungkai Barat pada tahun 2018, serta Sekolah Menengah Atas Islam Terpadu (SMAIT) Baitul Jannah pada tahun 2021. Penulis diterima di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SMMPTN Barat.

Pada bulan Januari hingga bulan Februari 2024, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2024 di Desa Margo Jaya, Kecamatan Mesuji Timur, Kabupaten Mesuji selama 40 hari. Pada bulan Juli hingga Agustus penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Madu Baru di Desa Jl. Podokan, Rogocolo, Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan judul “Pemanfaatan Limbah Padat Blotong Sebagai Bahan Baku Pupuk Organik di Pabrik Gula Madukismo Daerah Istimewa Yogyakarta”. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi seperti PERMATEP (Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian) sebagai anggota bidang Infokom, serta mengikuti organisasi KOPMA Unila (Koperasi Mahasiswa Universitas Lampung) sebagai anggota.

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan pertolongan serta karunia-Nya skripsi yang berjudul "**EVALUASI DAERAH TANGKAPAN AIR BENDUNGAN WAY RAREM TERHADAP SIMPANAN AIR WADUK BERBASIS CITRA LANDSAT**" dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, ucapan terima kasih disampaikan yang sebesar-besarnya dengan segala kerendahan dan ketulusan hati kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah membantu dalam administrasi skripsi.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM. selaku ketua jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Ridwan, M.S. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis selama menempuh pendidikan di jurusan Teknik Pertanian, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan saran selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Elhamida Rezkia Amien, S.T.P., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan , dukungan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si. selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran serta masukannya sebagai perbaikan selama penulis menyusun skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ir. Sapo Kuncoro, M.S., selaku pembimbing akademik penulis sebelumnya yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing dan memberikan saran selama masa perkuliahan.

7. Seluruh dosen dan civitas akademik jurusan Teknik Pertanian, yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman.
8. Kedua orang tuaku tersayang Bapak Harun Yusuf dan Ibu Ery Rahmawati, saudaraku Fananda Wira Adhitya, dan Frizky Cahya Dwintara dan seluruh keluarga besar yang telah mendoakan.
9. Sahabatku Tedy yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini, serta selalu memberikan semangat dan dukungan.
10. Reni yang selalu memberikan waktu, bantuan, dukungan, motivasi, dan semangat yang tidak pernah putus selama kuliah.
11. Teman-teman kuliah, Bakung, Aal, Aduy, Bobi, Farhan, Zydan, Kristian, Akbar, Yosa, Galih, Justin, Hombing, Yoga, Wahyu, Sekti dan Risky Saputra yang telah memberikan semangat dan dukungan selama menyelesaikan skripsi.
12. Keluarga Teknik Pertanian 2021 yang telah membantu penulis dalam perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
13. Adam, Shendy, Firza, David, Cannio, Riki yang selalu memberikan dukungan dan selalu membantu penulis.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

Bandar Lampung, 1 Desember 2025
Penulis,

Fharay Ichlas Trianda
2154071003

HALAMAN PERSEMBAHAN

“This work is dedicated to those who believe that great changes begin with small steps. Just as a simple habit can shape one’s identity, every process, every revision, and every long night has led me to these pages”

(Fharay Ichlas Trianda)

Dengan penuh rasa syukur atas Ridho Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mempersembahkan hasil karya ini kepada :

Kedua Orang Tua

Ayah saya Harun Yusuf dan Ibu saya Ery Rahmawati yang selalu mengupayakan segala yang dimiliki baik berupa materi, tenaga, pikiran serta doa yang selalu terpanjat untuk keberhasilanku

Saudaraku

Fananda Wira Adhitya, dan Frizky Cahya Dwintara Terima kasih selalu memberikan dukungan dan semangat kepadaku

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Peran Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam Pengelolaan Sumber Daya Air ..	6
2.2 Daerah Tangkapan Air (DTA)	7
2.3 Bangunan Air	7
2.3.1 Waduk.....	7
2.3.2 Bendung	8
2.3.3 Bendungan	8
2.4 Konsep Penginderaan Jauh	8
2.5 Citra Landsat 7	10
2.6 Citra Landsat 8	12
2.7 <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	14
2.8 <i>Normalized Difference Water Index (NDWI)</i>	15
III. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17

3.2 Alat dan Bahan Penelitian	17
3.3 Prosedur Penelitian.....	20
3.3.1 Tahap Penelitian	21
3.3.2 Tahap Pengolahan Data.....	21
3.3.3 Tahap Pembuatan Model Hubungan NDVI dan NDWI dengan Simpanan Bendungan Way Rarem	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Karakteristik Daerah Tangkapan Air.....	25
4.1.1 Posisi Geografis dan Luas Area	25
4.1.2 Bentuk Daerah Tangkapan Air	26
4.1.3 Orde Sungai.....	27
4.1.4 Morfometri Sungai.....	29
4.1.5 Kemiringan Lahan.....	30
4.1.6 Jenis Tanah	31
4.1.7 Penutupan Lahan.....	34
4.2 Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI)	36
4.3 Tingkat Kebasahan (NDWI).....	40
4.4 Proyeksi Volume Simpanan Waduk	44
4.4.1 Karakteristik Bendungan Way Rarem	44
4.4.2 Proyeksi Tinggi Muka Air dan Volume Simpanan Waduk.....	45
4.5 Hubungan Nilai NDVI dan NDWI	49
V. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Daftar Spesifikasi Citra Landsat 7	12
Tabel 2. Daftar Spesifikasi Citra Landsat-8	12
Tabel 3. Jenis dan Sumber Data Penelitian	18
Tabel 4. Klasifikasi Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI).....	22
Tabel 5. Klasifikasi Tingkat Kebasahan (NDWI)	22
Tabel 6. Penggunaan lahan 2019.....	35
Tabel 7. Indeks kerapatan vegetasi.....	38
Tabel 8. Tingkat Kerapatan Vegetasi.....	40
Tabel 9. Indeks NDWI	42
Tabel 10. Tingkat Kebasahan	43
Tabel 11. Prediksi Tinggi Muka Air dan Volume Simpanan Air Waduk.....	46

Lampiran

Tabel 12. <i>Summary Output</i>	59
Tabel 13. Anova	59
Tabel 14. <i>Residual Output</i>	60
Tabel 15. Uji Korelasi Nilai NDWI Model dan NDWI Hasil Interpretasi Citra Landsat 8.....	60
Tabel 16. <i>Probability Output</i>	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Pola Respon Spektral Obyek.....	10
Gambar 2. Perhitungan NDVI.....	15
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 4. Peta Administrasi Kabupaten Lampung Utara	26
Gambar 5. Peta DAS Way Tulang Bawang.....	27
Gambar 6. Peta Orde Sungai.....	29
Gambar 7. Peta Analisis Morfometri DAS	30
Gambar 8. Peta Kemiringan Lahan.....	31
Gambar 9. Peta Jenis Tanah	34
Gambar 10. Peta Penggunaan Lahan	36
Gambar 11. Sebaran Tingkat Kerapatan Vegetasi	40
Gambar 12. Luas Genangan Bendungan Way Rarem Berdasarkan Hasil Analisis NDWI.....	44
Gambar 13. Kurva Pola Operasi Bendungan Way Rarem	48
Gambar 14. Scatter Plot Koefisien Determinasi TMA Fitting Kurva dan Model Matematis	48
Gambar 15. Scatter Plot Koefisien Determinasi Volume Tampung Waduk Fitting Kurva dan Model Matematis.....	48
<i>Lampiran</i>	
Gambar 16. Peta NDVI Musim Tanam 1 Tahun 2010	61
Gambar 17. Peta NDVI Musim Tanam 2 Tahun 2009	61
Gambar 18. Peta NDVI Musim Tanam 3 Tahun 2010	62
Gambar 19. Peta NDVI Musim Tanam 1 Tahun 2015	62

Gambar 20. Peta NDVI Musim Tanam 2 Tahun 2015	63
Gambar 21. Peta NDVI Musim Tanam 3 Tahun 2014	63
Gambar 22. Peta NDVI Musim Tanam 1 Tahun 2020	64
Gambar 23. Peta NDVI Musim Tanam 2 Tahun 2020	64
Gambar 24. Peta NDVI Musim Tanam 3 Tahun 2020	65
Gambar 25. Peta NDVI Musim Tanam 1 Tahun 2025	65
Gambar 26. Peta NDVI Musim Tanam 2 Tahun 2025	66
Gambar 27. Peta NDVI Musim Tanam 3 Tahun 2024	66
Gambar 28. Peta NDWI Musim Tanam 1 Tahun 2010	67
Gambar 29. Peta NDWI Musim Tanam 2 Tahun 2009	67
Gambar 30. Peta NDWI Musim Tanam 3 Tahun 2010	68
Gambar 31. Peta NDWI Musim Tanam 1 Tahun 2015	68
Gambar 32. Peta NDWI Musim Tanam 2 Tahun 2015	69
Gambar 33. Peta NDWI Musim Tanam 3 Tahun 2014	69
Gambar 34. Peta NDWI Musim Tanam 1 Tahun 2020	70
Gambar 35. Peta NDWI Musim Tanam 2 Tahun 2020	70
Gambar 36. Peta NDWI Musim Tanam 3 Tahun 2020	71
Gambar 37. Peta NDWI Musim Tanam 1 Tahun 2025	71
Gambar 38. Peta NDWI Musim Tanam 2 Tahun 2025	72
Gambar 39. Peta NDWI Musim Tanam 3 Tahun 2024	72

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendungan adalah sebuah struktur konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air dari sisi hulu ke hilir (Nurwaty *et al.*, 2018). Keberadaan waduk dianggap sebagai salah satu solusi yang efektif untuk mengubah dan mengatur distribusi air di suatu wilayah, sehingga dapat memenuhi kebutuhan air untuk berbagai kepentingan. Penampung air seperti waduk atau bendungan, memiliki berbagai manfaat yang sangat beragam. Di antaranya, mereka berfungsi untuk menampung air, irigasi lahan, menyediakan air baku, menghasilkan tenaga listrik, mengendalikan banjir, mendukung perikanan, serta berkontribusi pada sektor pariwisata dan konservasi lingkungan (Mulyono, 2017). Meskipun memberikan manfaat besar, bendungan juga memiliki risiko utama seperti pembebasan lahan yang tidak tepat waktu atau akurat, yang dapat memicu penundaan proyek, peningkatan biaya, dan konflik sosial (Wayangkau, 2021). Pembangunan bendungan memiliki beberapa fungsi penting, yaitu untuk menyediakan air baku, mendukung irigasi, mengendalikan banjir, serta sebagai sumber pembangkit tenaga air (Sitanggang, 2022).

Bendungan memiliki peran penting dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya sebagai penyedia air irigasi untuk kegiatan pertanian di wilayah sekitarnya (Ridwan *et al.*, 2013). Selain itu, bendungan juga menjadi salah satu sumber utama pasokan air baku bagi kebutuhan domestik dan industri di daerah tersebut (Kementerian PUPR, 2017). Namun, keberlanjutan fungsi bendungan sangat bergantung pada kondisi daerah tangkapan airnya.

Provinsi Lampung yang terletak di ujung selatan Pulau Sumatera, memainkan peran penting dalam sektor pertanian dan pengelolaan sumber daya air di Indonesia. Dalam upaya mendukung ketahanan air dan pangan, pemerintah telah membangun beberapa bendungan di provinsi ini, salah satunya adalah Bendungan Way Rarem. Bendungan Way Rarem terletak di Kabupaten Lampung Utara dan berperan penting sebagai penyedia air untuk keperluan irigasi. Bendungan ini memiliki kapasitas yang signifikan dalam menampung air saat banjir. Dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) yang mencakup sekitar 35% dari total DAS Kotabumi, Bendungan Way Rarem mampu mengurangi risiko banjir hingga 29% sampai 32% dari keseluruhan banjir yang terjadi di wilayah Kotabumi (Kainardi, 2018).

Bendungan Way Rarem dipilih sebagai objek penelitian karena perannya yang sangat penting dalam pengelolaan air dan irigasi di Kabupaten Lampung Utara. Bendungan ini berkontribusi pada ketahanan pangan dengan menyediakan air untuk lahan pertanian. Namun, wilayah tangkapan airnya sangat rentan terhadap perubahan penggunaan lahan yang disebabkan oleh deforestasi dan aktivitas pertanian. Dengan menggunakan citra Landsat, evaluasi ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai dampak perubahan tersebut terhadap kapasitas penyimpanan air di waduk. Selain itu, penelitian tentang Way Rarem dengan pendekatan penginderaan jauh masih terbilang terbatas jika dibandingkan dengan bendungan lain di Lampung. Oleh karena itu, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi baru untuk pengelolaan sumber daya air yang lebih berkelanjutan.

Daerah irigasi Way Rarem, yang berasal dari Bendungan Way Rarem, melayani irigasi seluas 22.972 ha di 7 kecamatan. Empat kecamatan berada di Kabupaten Lampung Utara yaitu Kecamatan Abung Semuli (669 ha), Abung Timur (3.117 ha), Abung Surakarta (2.300 ha), dan Muara Sungkai (1.050 ha). Sementara itu, tiga kecamatan lainnya berada di Kabupaten Tulang Bawang Barat yaitu Kecamatan Tumi Jajar (4.247 ha), Tulang Bawang Udk (1.707 ha), dan Tulang Bawang Tengah (2.393 ha) (Apriyana et al., 2019). Awalnya dirancang untuk melayani sawah seluas 22.972 ha, tetapi luas fungsi irigasi menurun menjadi

17.216 ha, dan saat ini hanya berfungsi untuk 15.081 ha (Susilo, 2019). Luas baku daerah irigasi Way Rarem tidak terpenuhi dikarenakan simpanan air waduk tidak tercukupi untuk mengaliri daerah irigasi atau dapat dikarenakan saluran irigasi yang rusak.

Penilaian terhadap daerah tangkapan air (*catchment area*) memiliki peran penting dalam memahami dampaknya terhadap penyimpanan air di waduk. Perubahan pada tutupan lahan di area ini dapat memengaruhi baik kualitas maupun kuantitas aliran air yang menuju waduk. Misalnya, konversi lahan hutan menjadi area pertanian tanpa menerapkan praktik konservasi yang memadai dapat mempercepat sedimentasi, yang pada akhirnya mengurangi kapasitas tampungan waduk (Hidayat *et al.*, 2014). Pemanfaatan citra satelit dan analisis indeks vegetasi, seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah pendekatan yang efektif untuk memonitor perubahan tutupan lahan pada daerah tangkapan air. Selain itu, pemantauan perubahan penggunaan lahan melalui citra satelit dan indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dapat memberikan informasi mengenai kondisi vegetasi dan potensi erosi di daerah tangkapan (Ridhayana *et al.*, 2022).

Analisis citra Landsat dengan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan NDWI (*Normalized Difference Water Index*) efektif dalam memetakan kondisi vegetasi dan luas genangan waduk serta perubahan tutupan lahan di *catchment area* secara signifikan memengaruhi simpanan air waduk (LB *et al.*, 2024). Bendungan Way Rarem menghadapi sejumlah tantangan utama yang berkaitan dengan pengelolaan daerah tangkapan air, masalah sedimentasi, dan ketersediaan air waduk. Salah satu isu signifikan adalah perubahan tata guna lahan di daerah tangkapan air yang disebabkan oleh deforestasi dan aktivitas pertanian yang tidak terkelola dengan baik. Kondisi ini mengakibatkan peningkatan erosi tanah, yang berdampak pada sedimentasi waduk dan mengurangi kapasitas tampung air dari waktu ke waktu.

Selain itu, fluktuasi curah hujan dan perubahan iklim turut mempengaruhi debit air yang masuk ke bendungan, yang pada gilirannya berdampak pada pasokan air untuk kebutuhan irigasi dan domestik. Selain itu, kurangnya pemantauan rutin

terhadap kondisi daerah tangkapan air membuat pengelolaan sumber daya air di Bendungan Way Rarem menjadi kurang efektif. Dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis dan citra satelit, diharapkan penyajian informasi spasial, terutama yang berkaitan dengan indeks kerapatan vegetasi dan air di Bendungan Way Rarem, dapat dilakukan dengan lebih mudah, sekaligus memungkinkan analisis jumlah air yang masuk dari daerah tangkapan air selama periode tertentu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kerapatan vegetasi pada daerah tangkapan air (*catchment area*) Bendungan Way Rarem?
2. Apakah luas genangan Bendungan Way Rarem dapat dipetakan secara akurat menggunakan nilai indeks keairan (NDWI)?
3. Apakah hubungan antara tingkat kerapatan vegetasi dengan luas genangan waduk dapat dinyatakan dalam model matematik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai index kerapatan vegetasi (NDVI) pada *catchment area* bendungan Way Rarem.
2. Mendapatkan nilai index keairan (NDWI) pada daerah irigasi Way Rarem.
3. Memperoleh hubungan laju perubahan penutupan lahan (NDVI) *catchment area* terhadap luas genangan (NDWI) bendungan Way Rarem.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang pengelolaan daerah aliran sungai dan bendungan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif, berkelanjutan, dan mendukung pemanfaatan teknologi modern dalam mengatasi berbagai permasalahan lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahwa penelitian ini tidak melakukan analisa variabel - variabel lingkungan lain terkait dengan perubahan luas permukaan dan simpanan air waduk.
2. Bahwa hubungan antara kondisi kerapatan vegetasi *catchment area* waduk dengan luas genangan dan simpanan air waduk diduga berdasarkan pada lengkung karakteristik bendungan Way Rarem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peran Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam Pengelolaan Sumber Daya Air

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah wilayah yang berfungsi sebagai area penyerapan air dan mengatur sistem tata air. Kualitas DAS secara alami dipengaruhi oleh faktor-faktor biofisik, seperti komposisi tanah, kondisi air, dan vegetasi. Namun, perubahan penggunaan lahan yang berkaitan dengan aktivitas manusia dapat mengganggu keseimbangan ekosistem DAS. Kegiatan eksploitasi di dalam DAS berpotensi meningkatkan jumlah serta tingkat risiko terjadinya erosi (TBE). Kerusakan pada DAS, seperti alih fungsi lahan dan penebangan hutan, dapat merusak keseimbangan alam, meningkatkan sedimentasi di sungai dan waduk, serta mengurangi kapasitas tumpung air pada bendungan (Kadir et al., 2020).

Pengelolaan DAS membutuhkan perhatian pada konservasi tanah, pengendalian erosi, serta pemanfaatan lahan yang sejalan dengan kemampuan lingkungan. Teknologi seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) dan citra satelit dapat meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi DAS. Selain itu, menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2015), pengelolaan DAS yang sukses memerlukan kerjasama yang baik antara pemerintah, masyarakat, dan pihak terkait lainnya untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air yang bermanfaat bagi masa depan.

2.2 Daerah Tangkapan Air (DTA)

Daerah Tangkapan Air (DTA) adalah bagian yang sangat penting dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Setiap DAS terdiri dari beberapa sub DAS, dan setiap sub DAS memiliki DTA di dalamnya. DTA ini berfungsi untuk menangkap air hujan yang jatuh ke permukaannya. Setelah itu, air hujan tersebut mengalir melalui beberapa jalur, seperti aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan pergerakan air yang lebih dalam ke dalam tanah, yang akhirnya menuju sungai utama dalam DAS (Gultom et al., 2022). Perubahan penggunaan lahan di daerah tangkapan air (DTA) dapat memberikan dampak yang besar terhadap kualitas dan kuantitas air yang mengalir ke waduk. Sebagai contoh, konversi hutan menjadi lahan pertanian tanpa penerapan praktik konservasi yang tepat dapat mempercepat erosi dan sedimentasi, yang pada akhirnya mengurangi kapasitas tampungan waduk (Heryani et al., 2012). Semua proses ini sangat menentukan bagaimana air mengalir di dalam DAS, dan mempengaruhi ketersediaan serta kualitas air di daerah tersebut.

2.3 Bangunan Air

Bangunan air adalah struktur yang dirancang untuk mengendalikan, menyimpan, dan mendistribusikan air. Fungsinya mencakup berbagai keperluan, seperti irigasi, pengendalian banjir, penyediaan air baku, serta sebagai sumber pembangkit listrik tenaga air (Ansori et al., 2018). Terdapat tiga jenis bangunan air utama, yaitu waduk, bendung, dan bendungan. Ketiga bangunan ini berperan penting dalam mengatur aliran air sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan yang ada.

2.3.1 Waduk

Waduk merupakan sebuah wadah buatan yang terbentuk akibat pembangunan bendungan yang berfungsi menahan aliran air. Hal ini menciptakan genangan air yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (Burhanudin et al., 2022). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010, waduk didefinisikan sebagai wadah buatan yang terjadi karena adanya pembangunan bendungan. Fungsi utama waduk mencakup penyediaan air untuk

irigasi, pasokan air minum, pengendalian banjir, serta sebagai sumber energi melalui pembangkit listrik tenaga air.

2.3.2 Bendung

Bendung adalah suatu struktur yang dibangun melintang di sebuah sungai, terbuat dari pasangan batu kali, beton, atau bronjong. Fungsi utama bendung adalah untuk meningkatkan elevasi air guna mendukung irigasi di area sawah dan mengendalikan banjir. Kebanyakan manfaat bendung terkait dengan infrastruktur sumber daya air, termasuk mendukung irigasi, pembangkit listrik tenaga air (PLTA), serta memenuhi kebutuhan sehari-hari Masyarakat (*Agustin et al.*, 2022).

2.3.3 Bendungan

Bendungan memiliki peran yang sangat penting dalam mengelola sumber daya air, baik untuk kebutuhan irigasi, penyediaan air baku, pengendalian banjir, maupun pembangkit listrik tenaga air. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015, bendungan dirancang untuk mengatur aliran air guna memastikan pasokan air tetap tersedia sepanjang tahun, khususnya di wilayah-wilayah yang rentan terhadap kekeringan. Infrastruktur ini juga membantu menjaga stabilitas aliran air sehingga dapat memberikan manfaat secara berkelanjutan.

Namun, pengelolaan bendungan menghadapi berbagai tantangan, salah satunya sedimentasi yang dapat mengurangi kapasitas penyimpanan air. Menurut (*Mahmud et al.*, 2020) akumulasi sedimen yang signifikan dapat menurunkan fungsi waduk secara bertahap. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengelolaan sedimen yang lebih baik untuk mempertahankan efektivitas bendungan sebagai infrastruktur pengelolaan sumber daya air.

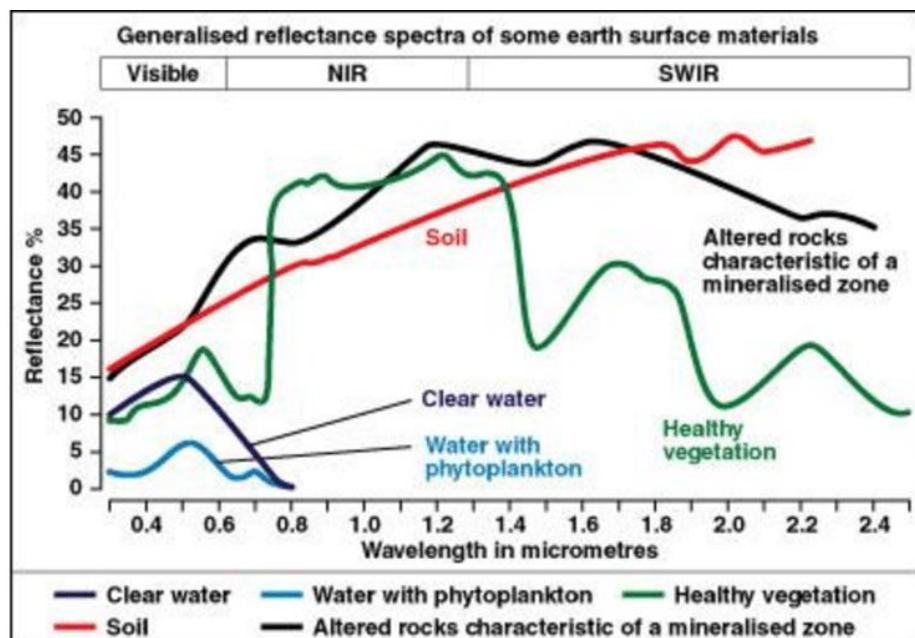
2.4 Konsep Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan ilmu, teknik, dan seni yang digunakan untuk memperoleh informasi tentang objek, wilayah, atau fenomena tanpa perlu kontak fisik langsung dengan objek yang diamati. Teknologi ini memanfaatkan sensor untuk merekam citra objek atau fenomena di permukaan bumi, baik menggunakan

foto udara maupun citra satelit. Data yang dihasilkan berupa citra tersebut memungkinkan analisis karakteristik objek melalui proses interpretasi, dengan memperhatikan elemen-elemen seperti rona, warna, bentuk, ukuran, tekstur, pola, bayangan, lokasi, dan hubungan antar objek (Rahayu *et al.*, 2015).

Penginderaan jauh kerap digunakan bersama dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mendukung pengelolaan data spasial. Data yang diperoleh dari teknologi ini, seperti citra satelit multispektral, diproses dan dianalisis melalui SIG guna menghasilkan informasi yang terintegrasi, akurat, dan relevan dengan lokasi geografis (Rahma *et al.*, 2020). Secara umum, penginderaan jauh bertujuan untuk mengumpulkan informasi mengenai sumber daya alam dan lingkungan dengan memanfaatkan radiasi elektromagnetik sebagai media pengantar data. Proses ini mencakup analisis intensitas panjang gelombang yang direkam oleh sensor, yang kemudian diolah dan diinterpretasikan untuk menghasilkan informasi yang dapat dimanfaatkan di berbagai bidang, seperti pertanian, kehutanan, geografi, hingga perencanaan tata ruang (Handayani *et al.*, 2003).

Pengenalan pola spektral merupakan aspek penting dalam penginderaan jauh karena pemahaman terhadap pantulan spektral suatu objek dapat mempermudah pengguna dalam memahami konsep dan analisis teknologi ini. Sebagai contoh, vegetasi memiliki pantulan yang relatif rendah pada spektrum biru, tetapi memiliki pantulan yang sangat tinggi pada spektrum hijau. Hal ini menjadikan vegetasi tampak hijau di mata manusia karena pantulan dominan pada panjang gelombang hijau. Sebaliknya, pantulan dari vegetasi menurun pada spektrum merah, namun meningkat secara signifikan pada panjang gelombang inframerah dekat (Bapelitbang, 2019). Distribusi dan nilai pantulan spektral tiap objek terhadap Panjang gelombang tertentu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Respon Spektral Obyek.

Sumber: Bapelitbang, 2019

2.5 Citra Landsat 7

Satelite Landsat 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) merupakan salah satu satelite penginderaan jauh yang hingga saat ini masih banyak dimanfaatkan dalam berbagai kajian sumber daya alam dan lingkungan. Satelite ini dilengkapi dengan sensor multispektral yang mampu merekam data pada berbagai panjang gelombang, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi beragam objek di permukaan bumi seperti vegetasi, badan air, tanah terbuka, maupun kawasan terbangun. Salah satu keunggulan utama dari Landsat 7 ETM+ adalah resolusi temporalnya yang memungkinkan dilakukan perekaman citra secara periodik dalam rentang waktu tertentu (Shofiana *et al.*, 2013). Hal ini memberikan peluang besar bagi peneliti untuk melakukan analisis multiwaktu (*temporal analysis*), yaitu membandingkan data citra dari waktu yang berbeda untuk memantau perubahan penggunaan lahan, dinamika tutupan vegetasi, hingga degradasi lingkungan.

Kelebihan utama Landsat 7 ETM+ adalah ketersediaan data yang konsisten secara temporal, sehingga memungkinkan dilakukan pemantauan berkelanjutan dengan cakupan wilayah yang luas. Oleh karena itu, Landsat 7 ETM+ banyak digunakan

dalam kajian sumber daya alam, terutama untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan akibat aktivitas manusia maupun faktor lingkungan alami (Akhrianti *et al.*, 2018).

Citra satelit Landsat ETM+ 7 yang dihasilkan melalui teknologi penginderaan jauh merupakan data digital hasil perekaman sensor, yang memiliki kemampuan dalam membedakan objek permukaan bumi seperti lahan, vegetasi, dan badan air. Pemanfaatan citra ini sangat efektif untuk mengidentifikasi serta memisahkan antara daratan dan perairan, khususnya pada kawasan pesisir atau garis pantai, melalui penerapan teknik klasifikasi citra komposit yang memanfaatkan tiga band/saluran utama (Hariyanto *et al.*, 2010).

Citra Landsat 7 memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan Landsat 8, terutama setelah terjadi kegagalan pada komponen *Scan Line Corrector* (SLC) pada bulan Mei 2003. Kejadian ini menyebabkan sekitar 22% data hilang dalam setiap scene (Scaramuzza *et al.*, 2005). Situasi ini menciptakan celah berbentuk garis pada citra, sehingga mengganggu kelanjutan spasial dan memengaruhi kualitas analisis, terutama di daerah yang memiliki variasi tinggi (Chen *et al.*, 2011). Meskipun ada teknik untuk mengisi celah tersebut, hasilnya masih sering tidak cukup akurat, terutama pada wilayah yang berubah cepat atau beragam (Maxwell *et al.*, 2007). Selain itu, kemampuan Landsat 7 dalam mengukur radiasi dan spektrum masih kurang dibandingkan dengan Landsat 8, yang memiliki lebih banyak kanal spektral, resolusi lebih baik, dan sensitivitas lebih tinggi. Perbedaan ini memengaruhi analisis seperti indeks vegetasi atau kelembapan, di mana Landsat 7 kurang sensitif terutama di area dengan tutupan vegetasi rendah (Roy *et al.*, 2016). Karena itu, Landsat 8 lebih baik dalam menghasilkan data yang akurat dan dapat dipercaya untuk pemantauan lingkungan serta analisis hidrologi. Citra Landsat 7 memiliki 8 band sebagaimana dipaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Spesifikasi Citra Landsat 7

Band Spektral	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi (m)
Band 1 Blue	0.45 - 0.52	30
Band 2 Green	0.52 - 0.60	30
Band 3 Red	0.63 - 0.69	30
Band 4 NIR	0.77 - 0.90	30
Band 5 SWIR	1.55 - 1.75	30
Band 6 Thermal	10.40 - 12.50	60
Band 7 Mid-Infrared	2.08 - 2.35	30
Band 8 Panchromatic	0.52 - 0.90	15

Sumber: (USGS, 1999)

2.6 Citra Landsat 8

Landsat 8 merupakan satelit observasi bumi generasi terbaru yang bertugas melanjutkan misi dari satelit Landsat sebelumnya. Satelit ini dirancang untuk menghasilkan data pengamatan dengan resolusi tinggi guna mendukung berbagai analisis spasial. Citra Landsat 8 dilengkapi dengan 11 kanal spektral, terdiri dari 9 kanal pada sensor *Operational Land Imager* (OLI) dan 2 kanal pada *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) (Purwanto, 2015). Berikut daftar spesifikasi Citra Landsat 8 sebagaimana dipaparkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Spesifikasi Citra Landsat-8

Band Spektral	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi (m)
Band 1 Coastal/Aerosol	0,435 – 0,451	30
Band 2 Blue	0,452- 0,512	30
Band 3 Green	0,533 – 0,590	30
Band 4 Red	0,636- 0,673	30
Band 5 NIR	0,851 – 0,879	30

Band Spektral	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi (m)
Band 6 SWIR-1	1,566- 1,651	30
Band 7 SWIR-2	2,107- 2,2294	30
Band 8 Panchromatic	0,503- 0,676	15
Band 9 Cirrus	1,363- 1,384	30
Band 10 TIRS-1	10,60- 11,19	100
Band 11 TIRS-2	11,50 – 12,51	100

Sumber: (USGS, 2013)

Data citra satelit penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini adalah Landsat-8 Level 1T. Data Landsat-8 merupakan hasil perekaman dari sensor yang dipasang pada Satelit Landsat-8, juga dikenal sebagai LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*). Satelit ini dilengkapi dengan sensor OLI (*Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Pemanfaatan data Landsat-8 untuk mendeteksi wilayah yang tergenang banjir dilakukan dengan menggunakan data hasil perekaman sensor OLI.

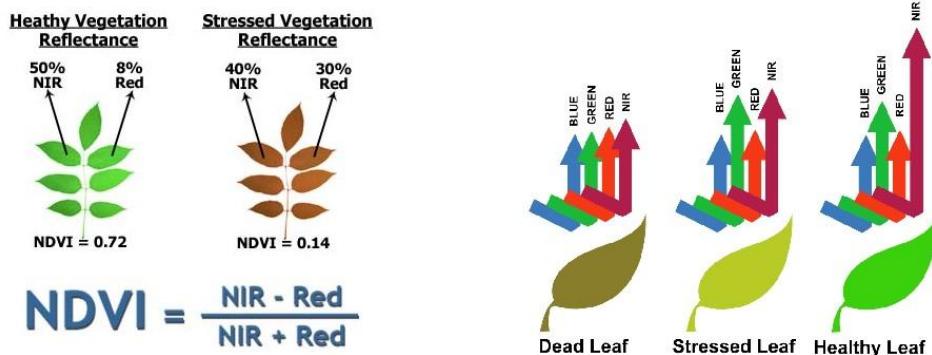
Citra Landsat telah lama dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang penelitian, sebagaimana dilaporkan oleh Sampurno *et al.* (2016) dalam studi klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra Landsat-8 OLI. Penelitian tersebut menerapkan tahapan pengolahan citra yang meliputi pra-pengolahan (koreksi geometrik, radiometrik, dan atmosferik), pemilihan kombinasi band terbaik, interpretasi visual untuk mengenali tutupan lahan, analisis separabilitas untuk memastikan perbedaan antar kelas, serta klasifikasi menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Proses klasifikasi ini menghasilkan 10 kelas tutupan lahan dengan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 99,61%, menunjukkan bahwa metode tersebut sangat efektif dalam menghasilkan peta tutupan lahan yang mendukung perencanaan dan pengelolaan wilayah. Keunggulan citra Landsat-8 OLI terletak pada cakupan perekaman wilayah permukaan bumi yang lebih luas, resolusi spasial, temporal, dan radiometrik yang tinggi, kemampuan membedakan warna berdasarkan kondisi muka bumi, serta

variasi panjang gelombang yang mendukung identifikasi permukaan bumi (Septiani *et al.*, 2019).

Peningkatan sensor Landsat 8 OLI, seperti pita inframerah dekat yang lebih sempit, SNR lebih tinggi, dan sensitivitas radiometrik lebih baik, memungkinkan evaluasi reflektansi permukaan yang lebih akurat. Namun, NDVI pada area perairan lebih rendah dibandingkan Landsat 7 ETM+ akibat pengaruh aerosol yang lebih besar (Ke *et al.*, 2015). NDVI dari Landsat 8 biasanya lebih tinggi di area dengan vegetasi rendah, sementara perbedaannya berkurang di area dengan vegetasi tinggi, seperti hutan dan padang rumput. Hal ini terjadi karena karakteristik spektral Landsat 8, dengan pita NIR yang lebih reflektif dan pita merah yang lebih redup dibandingkan Landsat 7 (Xu *et al.*, 2014).

2.7 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kerapatan dan kesehatan vegetasi dengan membandingkan reflektansi cahaya merah dan inframerah dekat. Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai mendekati +1 menunjukkan vegetasi yang lebat dan sehat, sedangkan nilai mendekati -1 menunjukkan area non-vegetasi atau vegetasi yang tidak sehat. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara band merah dan band *Near Infra-Red* (NIR) yang telah digunakan lama sebagai indikator untuk menilai kondisi vegetasi dan keberadaannya, yang lebih dikenal dengan nama *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Metode skala lanskap (NDVI) adalah pendekatan yang menghitung nilai kehijauan vegetasi berdasarkan pengolahan data sinyal digital yang mencakup nilai kecerahan (*brightness*) dari beberapa kanal sensor satelit pada citra satelit (Philiani *et al.*, 2016). Pada Gambar 2 dipaparkan perhitungan NDVI.



Gambar 2. Perhitungan NDVI.

Sumber: Agristry, 2021.

Proses pengolahan citra Landsat 7 dan Landsat 8 menggunakan algoritma NDVI dimulai dengan mencocokkan band-band yang tersedia pada citra tersebut.

Diketahui bahwa citra Landsat 7 memiliki 9 kanal, sedangkan Landsat 8 memiliki 11 kanal (Purwanto, 2015). Selain digunakan untuk menilai kesehatan dan kerapatan vegetasi, NDVI juga berperan penting dalam evaluasi sumber daya air, termasuk analisis catchment area yang memengaruhi simpanan air waduk. Dalam konteks pengelolaan bendungan, NDVI membantu memantau perubahan vegetasi di sekitar *catchment area*, yang dapat memengaruhi pengendalian limpasan air dan tingkat erosi tanah. Penelitian oleh Xu (2014) menunjukkan bahwa NDVI dari citra Landsat 8 memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan Landsat 7, terutama di area dengan vegetasi rendah hingga sedang, berkat peningkatan sensitivitas spektral pada sensor Landsat 8. Penggunaan NDVI untuk memetakan vegetasi di sekitar catchment area mendukung pemantauan kondisi ekologi wilayah tersebut sekaligus menjaga keberlanjutan fungsi bendungan dalam pengelolaan air.

2.8 Normalized Difference Water Index (NDWI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah metode standar yang digunakan untuk membandingkan tingkat kehijauan vegetasi yang diambil dari citra satelit. Sedangkan, *Normalized Difference Water Index* (NDWI) berfungsi untuk menganalisis tingkat kebasahan dalam citra penginderaan jauh (Hernoza *et*

al., 2020). NDWI merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis tingkat kelembapan melalui citra satelit. Indeks ini memberikan informasi mengenai tingkat kebasahan suatu objek, serta kelembapan tanah atau vegetasi di suatu wilayah (Permata *et al.*, 2022).

Pita 5 dan 3 digunakan dalam analisis kelembapan dengan citra Landsat 8. Pita 5 terletak dalam spektrum inframerah dekat (NIR) pada rentang panjang gelombang 0,76–0,90 μm , yang efektif dalam membedakan antara vegetasi serta mendeteksi keberadaan air tanah dan kelembapan tanah. Sementara itu, Pita 3 memiliki panjang gelombang 0,53-0,59 μm , yang berguna untuk menggambarkan sifat-sifat vegetasi dan tanah, serta membedakan antara salju dan awan. Penggunaan kedua pita ini memungkinkan perhitungan Indeks Air Ternormalisasi (NDWI) (Gao, 1996).

Dengan demikian, NDWI menjadi alat yang sangat penting dalam analisis lingkungan, khususnya dalam studi *catchment area* seperti Bendungan Way Rarem. Indeks ini memberikan informasi tentang air tanaman dan tanah, yang penting untuk memahami pengaruh kelembaban pada ekstraksi. Informasi ini dapat membantu mengelola sumber daya air dengan lebih baik, termasuk memantau perubahan kelembapan yang memengaruhi kapasitas penyimpanan dan kualitas air. Penggunaan NDWI memungkinkan penilaian yang akurat dan mendukung keputusan berbasis data dalam pengelolaan dan perlindungan lingkungan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Maret 2025 sampai dengan Agustus 2025, pengolahan data dilakukan di Laboratorium Teknik Sumberdaya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: Laptop RAM 16 GB dengan spesifikasi (CPU Intel Core i7-11370H, dan GPU Nvidia GeForce RTX 3060), Software ArcGis 10.2, Software Microsoft Excel, Software Microsoft Office, dan Google Earth Pro.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder meliputi data spasial dan data non spasial. Data spasial yang digunakan yaitu Citra Landsat 8 OLI, Peta Administrasi Kabupaten Lampung Utara, *Digital Elevation Methods* (DEM) wilayah Kabupaten Lampung Utara, Peta Penggunaan Lahan, Peta Jenis Tanah, Peta Kemiringan Lahan, Peta Kerapatan Vegetasi, dan Peta Indeks Air.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri data sekunder yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis dan Sumber Data Penelitian

No.	Jenis Data	Sumber Data	Keterangan
1.	Peta Administrasi Kabupaten Lampung Utara	Indonesia Geospasial Portal https://tanahair.indonesia.go.id/porta l-web/unduh/rbi-wilayah	Skala 1:125.000
2.	Peta Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra Landsat 8 OLI	http://earthexplorer.usgs.gov/	Band 2, Band 3, Band 4, dan Band 5
3.	DEM (Digital Elevation Model)	DEMNAS https://tanahair.indonesia.go.id/demnas /#/	SRTM 30 m
4.	Penggunaan Lahan	Kementerian Kehutanan RI	Skala 1:125.000
5.	Jenis Tanah	FAO https://www.fao.org/land-water/land- governance/land-resources-planning- toolbox/category/details/en/c/1026564/ https://www.fao.org/soils-portal/data- hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/	Skala 1:125.000

Sumber: Data Penelitian (2025)

Fungsi dari Tabel 3 diatas dijelaskan sebagai berikut:

1. Peta Administrasi Kabupaten Lampung Utara

Peta administrasi digunakan untuk menunjukkan batas wilayah penelitian, termasuk batas kabupaten, kecamatan, maupun desa. Peta ini berfungsi sebagai dasar dalam pemetaan lokasi studi sehingga hasil analisis spasial dapat disesuaikan dengan wilayah administrasi yang berlaku. Selain itu, peta ini penting untuk menghubungkan hasil penelitian dengan aspek kebijakan tata ruang dan pengelolaan wilayah.

2. Peta Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra Landsat 8 OLI

Citra satelit digunakan sebagai sumber data utama untuk melakukan

analisis tutupan lahan, vegetasi, maupun luas genangan waduk. Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI memiliki resolusi spasial yang memadai untuk kajian hidrologi dan lingkungan, dengan band tertentu (Band 2, 3, 4, dan 5) yang digunakan dalam perhitungan indeks vegetasi (NDVI) dan indeks kebasahan air (NDWI). Data ini menjadi dasar dalam mengevaluasi kondisi daerah tangkapan air dan simpanan waduk.

3. DEM (*Digital Elevation Model*)

Data DEM memberikan informasi mengenai ketinggian permukaan bumi dengan resolusi 30 meter. Data ini berguna untuk menganalisis bentuk topografi daerah penelitian, seperti kemiringan lereng, pola aliran, serta penentuan daerah tangkapan air. DEM sangat penting dalam menentukan arah aliran air, akumulasi limpasan, serta kapasitas tampungan alami, sehingga mendukung analisis hidrologi secara spasial.

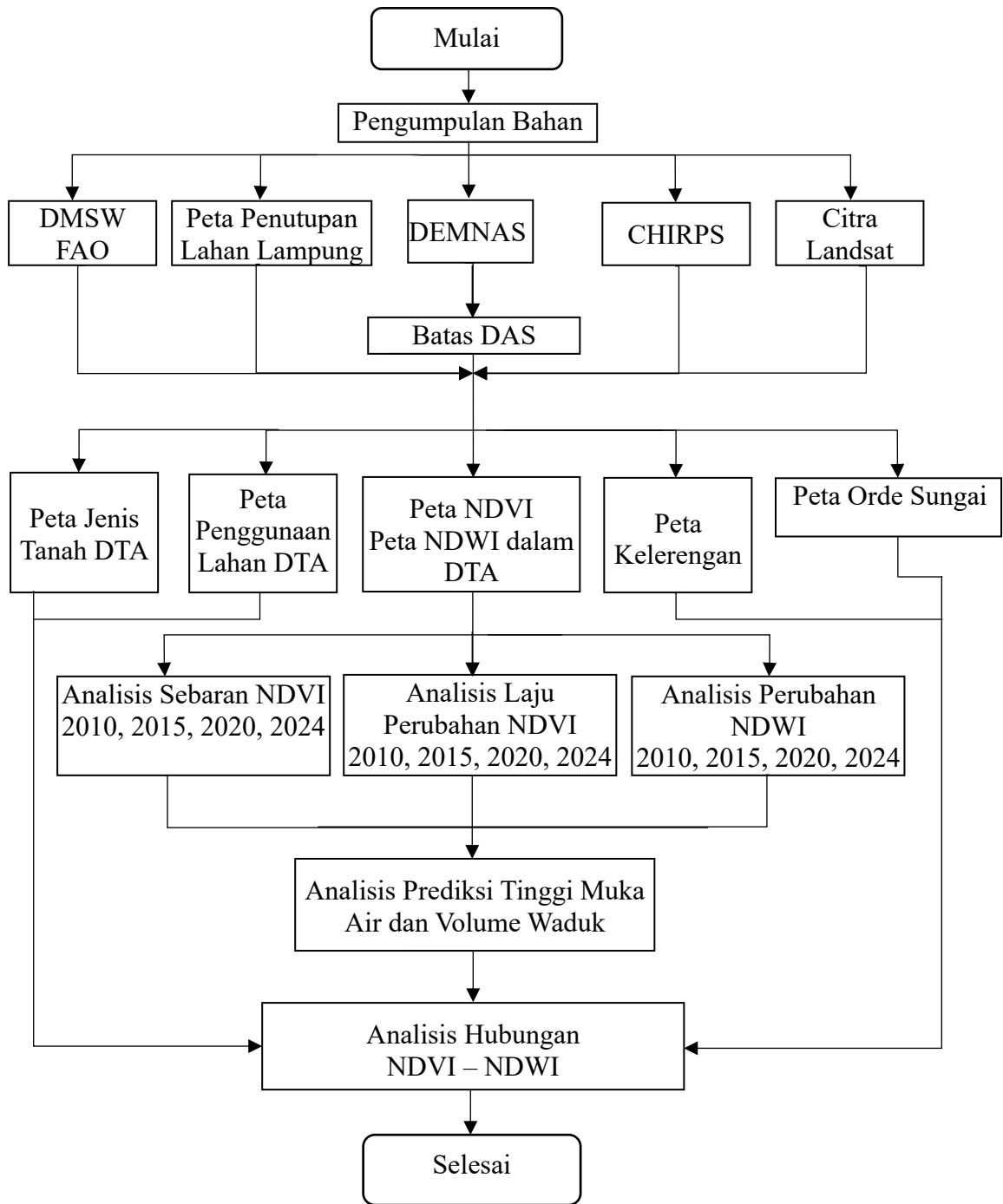
4. Data penggunaan lahan dari Kementerian Kehutanan RI digunakan untuk memahami bagaimana lahan di daerah tangkapan air digunakan, seperti hutan, sawah, permukiman, dan lahan terbuka. Peta ini membantu mengenali dampak dari kegiatan manusia terhadap kondisi air waduk, seperti erosi, aliran air permukaan, dan perubahan kemampuan waduk menyimpan air.

5. Peta Jenis Tanah

Data penggunaan lahan dari Kementerian Kehutanan RI digunakan untuk memahami bagaimana lahan di daerah tangkapan air digunakan, seperti hutan, sawah, permukiman, dan lahan terbuka. Peta ini membantu mengenali dampak dari kegiatan manusia terhadap kondisi air waduk, seperti erosi, aliran air permukaan, dan perubahan kemampuan waduk menyimpan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang dijelaskan menggunakan diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Tahap Penelitian

Tahapan awal dalam penelitian melibatkan dua proses utama, yaitu studi literatur dan pengumpulan alat dan bahan.

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pencarian dan pengumpulan sumber bacaan yang relevan dengan topik penelitian.

2. Pengumpulan Alat dan Bahan

Tahapan ini fokus pada pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan untuk pembuatan peta yang berasal dari berbagai sumber.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, seluruh data yang diperoleh akan diolah menjadi peta digital menggunakan software ArcGIS 10.8. Peta-peta yang akan dibuat dengan skala 1:125.000 meliputi:

1. Peta Lokasi Penelitian dalam Batas DAS Way Rarem
2. Peta Orde Sungai dalam *Cacthment Area* Bendungan Way Rarem
3. Peta Ketinggian Lahan dan Kelerengan
4. Peta Jenis Tanah
5. Peta Penggunaan Lahan
6. Peta Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI)
7. Peta Indeks Kebasahan/Keairan (NDWI)

Vegetasi umumnya teridentifikasi dalam rentang nilai 0,15 hingga 1, di mana nilai NDVI yang lebih tinggi menunjukkan kondisi tutupan vegetasi yang lebih sehat. Rentang nilai NDVI berkisar antara -1 (negatif) hingga 1 (positif), berdasarkan penelitian (Fatmawati *et al.*, 2024) tingkat kerapatan dibagi menjadi 4 kelas sebagaimana seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI)

Kelas	Tingkat Kerapatan	Klasifikasi Nilai NDVI
1	Lahan Tidak Bervegetasi	-1 s/d 0,15
2	Vegetasi Rendah	0,15 s/d 0,25
3	Vegetasi Sedang	0,25 s/d 0,35
4	Vegetasi Tinggi	0,35 s/d 1

Sumber: Fatmawati *et al.*, 2024

Nilai NDWI diperoleh melalui penghitungan data NIR (*Near Infrared*) dan SWIR (*Short Wave Infrared*). Berdasarkan penelitian (Permata *et al.*, 2022) tingkat kebasahan dibagi menjadi 2 kelas sebagaimana seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Tingkat Kebasahan (NDWI)

Kelas	Tingkat Kebasahan	Klasifikasi Nilai NDWI
1	Lahan Tidak Berair	-1 s/d 0
2	Daerah Berair	0 s/d 1

Sumber: Permata *et al.*, 2022

3.3.3 Tahap Pembuatan Model Hubungan NDVI dan NDWI dengan Simpanan Bendungan Way Rarem

Tahap ini bertujuan untuk mengembangkan model matematis yang mencerminkan hubungan antara kondisi vegetasi (NDVI), luas area genangan air (NDWI), dan volume penyimpanan air di Bendungan Way Rarem. Model ini dibentuk melalui analisis statistik dan spasial yang didasarkan pada data citra satelit serta informasi sekunder mengenai karakteristik waduk.

Pengolahan data citra satelit yang diperoleh dari sensor penginderaan jauh, seperti Landsat 8 yang mencakup area di sekitar bendungan. Citra ini kemudian dikoreksi secara geometrik dan atmosferik untuk meningkatkan akurasi perhitungan indeks vegetasi dan air. Pada penelitian (Purwanto, 2015) nilai NDVI dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

Untuk Citra Landsat 8 OLI/TIRS:

$$NDVI = \frac{NIR(Band\ 5) - RED(Band\ 4)}{NIR(Band\ 5) + RED(Band\ 4)}. \quad (1)$$

Untuk Citra Landsat 7 ETM+:

Keterangan :

NIR = kanal radiasi inframerah dekat dari piksel,

Red = kanal radiasi cahaya merah dari piksel,

Nilai NDVI berkisar dari -1 (lahan tidak bervegetasi) sampai +1 (vegetasi lebat dan rapat).

di mana NIR (*Near-Infrared*) dan RED merupakan kanal spektral dari citra satelit. Sementara itu, pada penelitian Gao (1996), formulasi algoritma yang digunakan untuk menghitung *Normalized Difference Water Index* (NDWI) adalah sebagai berikut.

Untuk Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Untuk Citra Landsat 7 ETM+

NIR (*Near-Infrared*) dan Green yang di mana merupakan kanal spektral pada citra satelit juga.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan indeks vegetasi yang pertama kali diperkenalkan oleh Rouse *et al.* (1973) dengan rumus umum $(NIR - Red)/(NIR + Red)$. Meskipun rumusnya sama, perbedaan muncul pada nomor kanal (band) yang digunakan antar sensor. Pada citra Landsat 7 ETM+,

kanal Band 4 mewakili spektrum *Near Infrared (NIR)* dan Band 3 mewakili *Red*, sedangkan pada Landsat 8 OLI, kanal Band 5 digunakan untuk NIR dan Band 4 untuk Red (USGS, 2024). Hal ini disebabkan adanya perbedaan desain spektral antar sensor, meskipun prinsip perhitungan indeks tetap sama.

Sementara itu, Normalized Difference Water Index (NDWI) memiliki dua formulasi utama. Menurut McFeeters (1996), NDWI dirancang untuk mendeteksi badan air terbuka dengan memanfaatkan kanal *Green* dan *NIR*.

Hubungan antara nilai NDVI dan NDWI dikembangkan melalui persamaan linear umum, yaitu $Y = a + b X$, di mana:

Y adalah nilai indeks NDWI,

X adalah nilai indeks NDVI,

a dan b adalah konstanta.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan selama penelitian maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis NDVI tahun 2009–2025 dapat disimpulkan bahwa daerah tangkapan air bendungan Way Rarem telah mengalami perubahan bentuk penutupan lahan dengan indikasi luas lahan tidak bervegetasi meningkat sebesar 669%, dari 807 ha pada tahun 2009 menjadi 6.209 ha pada tahun 2025. Lahan dengan tingkat kerapatan vegetasi rendah juga mengalami peningkatan sebesar 44,18%, dari 3.203 ha menjadi 4.618 ha. Sementara itu, luas lahan dengan tingkat kerapatan vegetasi sedang mengalami kenaikan sebesar 1,55%, dari 8.704 ha pada tahun 2009 menjadi 8.839 ha. Adapun luas lahan dengan tingkat kerapatan vegetasi tinggi mengalami penurunan sebesar 8,26%, dari 10.180 ha menjadi 9.339 ha.
2. Hasil analisis NDWI tahun 2009–2025 menunjukkan bahwa luas genangan waduk mengalami penurunan sebesar 7,09%, dari 691 ha pada tahun 2009 menjadi 642 ha pada tahun 2025. Kondisi ini menggambarkan terjadinya penurunan simpanan air pada waduk yang dapat berakibat pada luas layanan daerah irigasi bendungan Way Rarem.
3. Berdasarkan hasil analisis hubungan antara NDVI dan NDWI dapat disimpulkan bahwa adanya keterkaitan yang erat (R^2 sebesar 0,719) antara perubahan kondisi penutupan lahan dengan luas genangan dan simpanan air waduk.

4. Berdasarkan hasil penelitian dengan pemanfaatan citra landsat 8 OLI/TIRS, dapat diduga luas layanan daerah irigasi Way Rarem hanya tinggal sebesar 13.084,16 ha dari luas rencana layanan sebesar 17.216 ha atau terjadi penurunan sebesar 23,09% untuk setiap musim tanam.

5.2 Saran

Untuk memperkaya hasil penelitian pada bendungan Way Rarem disarankan untuk melakukan penelitian pengaruh perubahan tutupan lahan daerah tangkapan air waduk terhadap tingkat erosi dan sedimentasi dalam waduk guna menduga kapasitas tampung dan evaluasi umur guna waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, A., Wiratama, N. S., & Yatmin, Y. (2022, July). Dampak Pembangunan Bendung Gerak Waru Turi Terhadap Sosial-Ekonomi Masyarakat Desa Gampeng Kecamatan Gampengrejo Kabupaten Kediri Tahun 1988-2019. In *Prosiding SEMDIKJAR (Seminar Nasional Pendidikan dan Pembelajaran)*. 5(2), 454-462.
- Akhrianti, I., Franto, S. T., Nurtjahya, E., Syari, I. A., & Pi, S. (2018). Deteksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) Multi Temporal di Pesisir Utara Pulau Mendanau dan Pulau Batu Dinding, Kabupaten Belitung. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*, 12(1), 53-60.
- Ansori, M. B., & Edijanto, D. S. R. S. (2018). *Irigasi dan Bangunan Air*. Surabaya: Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS.
- Apriyana, Y., & Kartiwa, B. (2019). Analisis sumberdaya air untuk irigasi lahan sawah dalam meningkatkan akurasi kalender tanam. *Jurnal Sumber Daya Air*, 15(1), 1-14.
- Astuti, R. (2006). Peranan Sistem Informasi Geografis. *Media Informatika*, 115.
- Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian, dan Pengembangan. (2019). *Kajian Sosial Dan Pemerintahan Berbasis Geospasial Bidang Pendidikan (Sistem Informasi Pendidikan Berbasis Geospasial)*. Kabupaten Banyuasin: Bappeda Litbang Kabupaten Banyuasin.
- Boothroyd, R. J., Williams, R. D., Hoey, T. B., MacDonell, C., Tolentino, P. L., Quick, L., & David, C. P. (2023). National-scale geodatabase of catchment characteristics in the Philippines for river management applications. *Plos one*, 18(3), 1-25.
- Burhanudin, A. R., & Bakar, B. A. (2022). Kajian dan Analisa Terhadap Kerusakan Bangunan Tanggul Waduk Akibat Endapan Pengaruh Sedimentasi (Studi Kasus Waduk Darma). *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 2(1), 1-10.

- Chen, J., Zhu, X., Vogelmann, J. E., Gao, F., & Jin, S. (2011). *A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. Remote sensing of environment*, 115(4), 1053-1064.
- Costantini, R. A., & Thompson, C. M. (2023). *Leveraging geographic information in organization studies: Beginning the conversation. M@n@gement*, 26(1), 35-51.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- Fatmawati, Y., & Tisnasendjaja, A. R. (2024). Akuisisi data citra menggunakan UAP multispektral guna penentuan indeks kerapatan vegetasi dengan metode NDVI dan NDRE. *Geoplantart*, 6(2), 1-10.
- Gessang, O. M. (2020). Model Optimalisasi Pengelolaan Banjir Pada Bendungan Bili-Bili Menggunakan Artificial Neural Networks (ANN). Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., & Nathan, R. J. (2004). *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. Melbourne: John Wiley and Sons.
- Gultom, N., Badaruddin, B., & Kadir, S. (2022). Analisis Debit Air Di Daerah Tangkapan Air (Dta) Barabai Kabupaten Hulu Sungai Tengah. *Jurnal Sylva Scientiae*, 5(5), 711-717.
- H.Syarifuddin Kadir., B. E. (2020). *pengelolaan daerah aliran sungai*. malang: CV IRDH.
- Hariyanto, T., Wahyudi, W., Artama, P., & Suntoyo, S. (2010). Penggunaan Citra Satelit Landsat ETM 7+ untuk Evaluasi Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pantai Utara Jawa Timur (Kab. Tuban, Kab. Lamongan dan Kab. Gresik). *Geoid*, 5(2), 125-130.
- Hernoza, F., Susilo, B., & Erlansari, A. (2020). Pemetaan Daerah Rawan Banjir Menggunakan Penginderaan Jauh Dengan Metode Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Water Index Dan Simple Additive Weighting (Studi Kasus: Kota Bengkulu). *Rekursif: Jurnal Informatika*, 8(2), 144-152.
- Heryani, N., & Sutrisno, N. (2012). Perencanaan penggunaan lahan di Daerah Tangkapan Air (DTA) waduk Batutegi untuk mengurangi sedimentasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 6(1), 133-139.

- Hidayat, L., Susanto, S., Sudira, P., & Jayadi, R. (2014). Penilaian kinerja pengelolaan daerah aliran sungai berbasis model hidrologi elementer kasus: daerah tangkapan air Waduk Mrica. *Agritech*, 34(3), 337-346.
- Kainardi, M. (2018). *Studi analisis kapasitas retensi Bendungan Way Rarem pada banjir Kotabumi menggunakan HEC-GeoHMS*. Bandung. Skripsi: Universitas Katolik Parahyangan.
- Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015). *Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. Remote sensing of environment*, 164, 298-313.
- Kementerian PUPR. (2017). *Melestarikan Air, Merawat Kehidupan, & Mewujudkan Kemakmuran*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- LB, S. A., Ridwan, R., Suharyatun, S., & Asmara, S. (2024). Evaluasi Catchment Area Waduk Batutegi Terhadap Simpanan Air Waduk. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 3(3), 339-350.
- Machado, R. E., Cardoso, T. O., & Mortene, M. H. (2022). Determination of runoff coefficient (C) in catchments based on analysis of precipitation and flow events. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 208-216.
- Mahmud, G., & Darsono, S. (2020). Analisis sedimentasi dan prediksi distribusi sedimen di Waduk Tilong Kabupaten Kupang. *Rang Teknik Journal*, 3(2), 227-233.
- Maxwell, S. K., Schmidt, G. L., & Storey, J. C. (2007). *A multi-scale segmentation approach to filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. International Journal of Remote Sensing*, 28(23), 5339-5356.
- McFeeters, S. K. (1996). *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- Mulyono, J. (2017). Konsepsi keamanan bendungan dalam pembangunan dan pengelolaan bendungan. *Jurnal Infrastruktur*, 3(1), 1-62.
- Ningsih, D. H. U., & Setyadi, A. (2003). *Remote Sensing (Penginderaan Jauh). Dinamik*, 8(2), 113-120.
- Nurnawaty, N., Suhardiman, S., & Ihwan, I. (2018). Analisis Rembesan pada Bendungan Tipe Urugan (Uji Simulasi Lab). *Teknik Hidro*, 11(1), 12-22.

- Permata, F. D., Putra, Y. S., & Adriat, R. Distribusi Spasial Tingkat Kebasahan Lahan di Kota Pfdontianak Menggunakan Normalized Difference Water Index (NDWI). *PRISMA FISIKA*, 10(3), 425-429.
- Perrina, M. G. (2021). *Literature Review Sistem Informasi Geografis (SIG)*. *Journal of Information Technology and Computer Science (JOINTECOMS)*, 10 (10), 1-4.
- Philiani, I., Saputra, L., Harvianto, L., & Muzaki, A. A. (2016). Pemetaan vegetasi hutan mangrove menggunakan metode normalized difference vegetation index (NDVI) di Desa Arakan, Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. *Surya Octagon Interdisciplinary Journal of Technology*, 1(2), 211-222.
- Purwanto, A. (2015). Pemanfaatan citra Landsat 8 untuk identifikasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di kecamatan silat hilir kabupaten Kapuas Hulu. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*, 13(1), 27-36.
- Rahma, I. Y. (2020). Analisis Komparasi Metode Pemetaan Ekosistem Mangrove Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografin*, 17(2), 49-55.
- Ridhayana, A., Darmawan, A., Santoso, T., Yuwono, S. B., & Febryano, I. G. (2022). Perubahan Tutupan Lahan Pada Daerah Aliran Sungai Sekampung Hulu, Lampung Menggunakan Data Pengindraan Jauh. *MAKILA*, 16(2), 104-113.
- Ridwan, R., Sudira, P., Susanto, S., & Sutiarso, L. (2013). Manajemen Sumberdaya Air Daerah Aliran Sungai Sekampung di Antara Bendungan Batutegi dan Bendung Argoguruh, Propinsi Lampung: Kerangka Analitis Penyusunan Pola Operasional Waduk Harian. *Agritech*, 33(2).
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Volume I: Technical Presentations*, 12(2), 309–317.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Ce, W., Allen, R. G., Anderson, M. C., & Zhu, Z. (2014). *Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research*. *Remote sensing of Environment*, 145, 154-172.
- Sampurno, R. M., & Thoriq, A. (2016). Klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra landsat 8 operational land imager (OLI) di Kabupaten Sumedang (land cover classification using landsat 8 operational land imager (OLI) data in Sumedang Regency). *Jurnal Teknotan*, 10(2), 1978-1067.

- Scaramuzza, P., & Barsi, J. (2005, October). *Landsat 7 scan line corrector-off gap-filled product development*. In *Proceeding of Pecora*, 16(3), 23-27.
- Septiani, R., Citra, I. P. A., & Nugraha, A. S. A. (2019). Perbandingan metode *supervised classification* dan *unsupervised classification* terhadap penutup lahan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 16(2), 90-96.
- Shofiana, R., Subardjo, P., & Pratikto, I. (2013). Analisis perubahan penggunaan lahan di wilayah pesisir Kota pekalongan menggunakan data landsat 7 etm+. *Journal Of Marine Research*, 2(3), 35-43.
- Sitanggang, D. P. (2022). Speed Control Turbin Pada Pembangkit Listrik Micro Hydro Pintu Air Bendungan. *Jurnal Sains Informatika Terapan*, 1(3), 144-148.
- Sobatnu, F., Irawan, F. A., & Salim, A. (2017). Identifikasi dan pemetaan morfometri daerah aliran sungai Martapura menggunakan teknologi GIS. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 1(2), 45-52.
- Susilo, G. E. (2019). Pengaruh rehabilitasi jaringan irigasi dan kapasitas tumpung waduk terhadap kenaikan produktivitas tanam di daerah irigasi. *Rekayasa Sipil*, 13(1), 9-15.
- Wayangkau, H. G. (2021). Analisis Manajemen Risiko Pada Proyek Pembangunan Bendungan (Studi Kasus: Bendungan Titab Di Bali, Bendungan Jatibarang Di Kabupaten Semarang Dan Bendungan Diponegoro Di Semarang). *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 4(1), 18-23.
- Xu, D., & Guo, X. (2014). *Compare NDVI extracted from Landsat 8 imagery with that from Landsat 7 imagery*. *American Journal of Remote Sensing*, 2(2), 10-14.
- Yuwono, B. D. (2015). Kajian pemanfaatan data penginderaan jauh untuk identifikasi objek pajak bumi dan bangunan (studi kasus: Kecamatan Tembalang Kota Semarang). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 4(1), 20-31.