Jurnal Agricultural Biosystem Engineering
https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/ABE/index
ISSN 2830-4403
Received: January 20, 2026
Accepted: March 2, 2026
Vol. 5, No. 1, March 20, 2026: 17-30
DOI: http://dx.doi.org/10.23960/jabe.v5i1.12378

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

Evaluation of the Way Rarem Dam Catchment Area on Reservoir Water Storage Based on Landsat Imagery

Fharay Ichlas Trianda[1], Ridwan[1*], Elhamida Rezkia Amien[1], Sandi Asmara[1]

[1]Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

**Corresponding Author:* zahabridwan@gmail.com

Abstract. *This study aims to evaluated condition of the water the catchment area. This study evaluates the condition of the Way Rarem Dam water catchment area agains reservoir water storage using Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI imagery. The integration of NDVI and NDWI indices was used to map vegetation density and surface water extent from 2009 to 2025. The results show that the catchment area is dominated by medium to high vegetation density with an 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) indicates that vegetation density influences approximately 71.9% of the variation land wetness conditions. The water storage volume reached its maximum capacity in 2020 at 43.66 million m^3 than decreased in 2024 to 2025 due to vegetation degradation and sedimentation. These findings emphesize the importance of vegetation cover in maintaining water storage capacity and hydrological stability in the Way Rarem Dam catchment area.*

Keywords: Catchment area*, Landsat Imagery, NDVI, NDWI, Way Rarem*

1. Pendahuluan

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam pengelolaan sumber daya air yang berfungsi menahan dan mengatur aliran air untuk memenuhi berbagai kebutuhan seperti irigasi, penyediaan air baku, pengendalian banjir, pembangkit listrik tenaga air, serta konservasi lingkungan. Meskipun memberikan banyak manfaat, keberlanjutan fungsi bendungan sangat bergantung pada kondisi daerah tangkapan air (*catchment area*) yang menjadi sumber utama pasokan air ke waduk (Ridwan *et al*, 2013). Salah satu bendungan penting di Provinsi Lampung adalah Bendungan Way

Rarem, yang berperan besar dalam penyediaan air irigasi bagi lahan pertanian di Kabupaten Lampung Utara dan sebagian wilayah Tulang Bawang Barat. Bendungan ini dirancang untuk mengairi lahan seluas 28.956 hektar, namun luas efektif irigasi terus menurun hingga hanya sekitar 15.081 hektar, disebabkan oleh berkurangnya simpanan air waduk dan kerusakan saluran irigasi (Susilo, 2019).

Perubahan tutupan lahan pada daerah tangkapan air secara langsung memengaruhi kuantitas dan kualitas aliran air yang menuju waduk. Konversi lahan hutan menjadi area pertanian dapat mempercepat proses erosi dan sedimentasi, yang mengakibatkan menurunnya kapasitas tampungan waduk serta berkurangnya pasokan air irigasi. Kondisi tersebut menuntut adanya pemantauan yang berkelanjutan terhadap kondisi vegetasi dan luas genangan air untuk mengetahui sejauh mana perubahan tutupan lahan berdampak pada ketersediaan air waduk. Salah satu metode yang efektif dalam pemantauan tersebut adalah penginderaan jauh, khususnya melalui pemanfaatan citra satelit Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI, yang memiliki kemampuan mendeteksi perubahan vegetasi dan permukaan air secara spasial dan temporal. Melalui *analisis Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI), perubahan tingkat kerapatan vegetasi dan luas genangan air dapat dipetakan dengan akurat dan efisien.

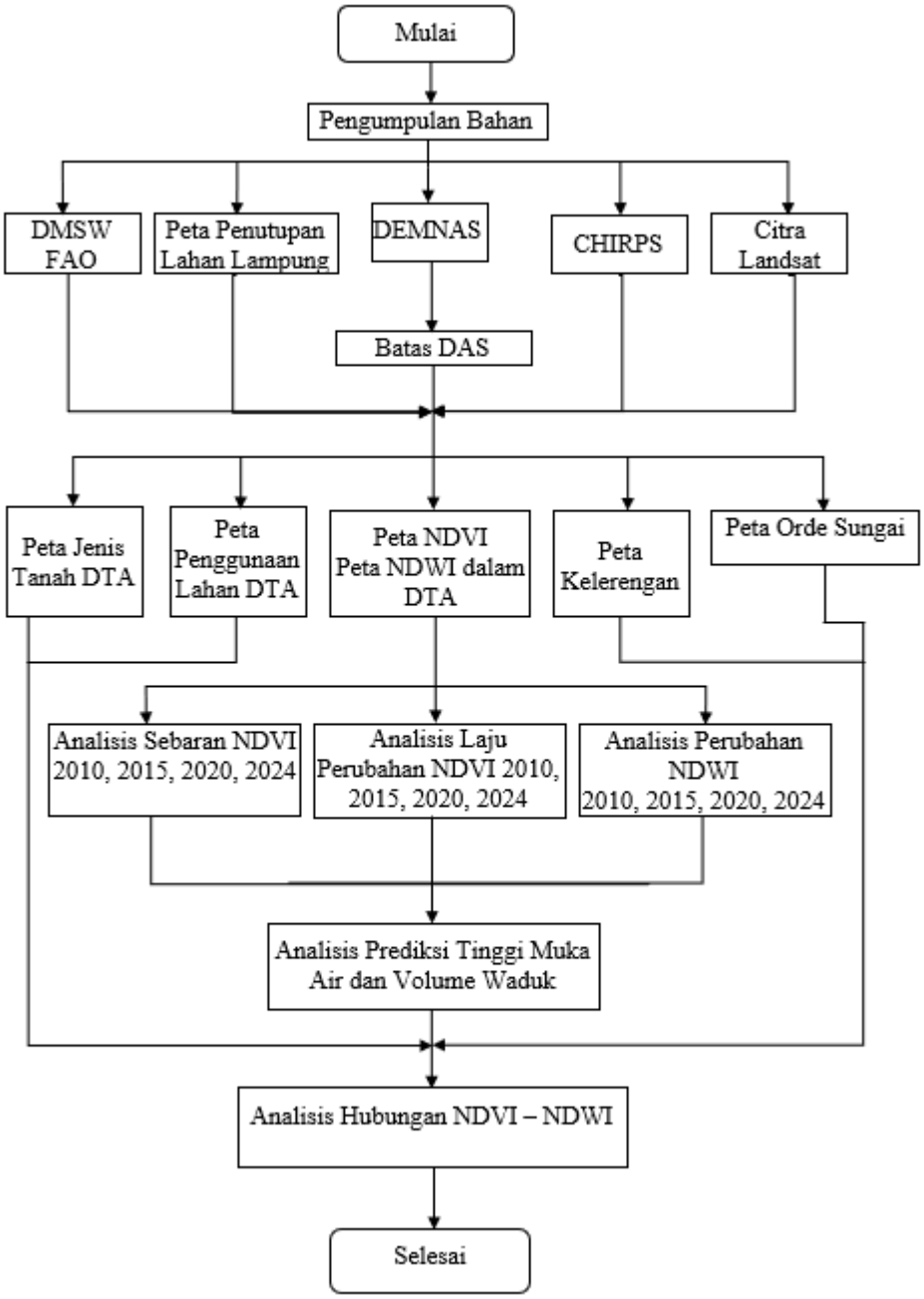
Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kondisi daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem terhadap simpanan air waduk berbasis citra Landsat. Hasil analisis diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai hubungan antara kerapatan vegetasi, tingkat kebasahan lahan, dan kapasitas penyimpanan waduk, serta menjadi dasar dalam upaya pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif dan berkelanjutan di wilayah Kabupaten Lampung Utara.

2. Metode 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. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Software* ArcGis 10.2 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, Kerapatan Vegetasi, dan Peta Indeks Air serta data curah hujan yang bersumber dari CHIRPS.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang dijelaskan menggunakan diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 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 *Catchment 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 1.

Tabel 1. 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

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 2.

Tabel 2. 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

2.2 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 ini nilai NDVI dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{\text{NIR+RED}} \quad (1)$$

Formulasi algoritma yang digunakan untuk menghitung *Normalized Difference Water Index* (NDWI) adalah sebagai berikut.

$$NDWI = \frac{\text{Green}-\text{NIR}}{\text{Green}+\text{NIR}} \quad (2)$$

dimana NIR adalah kanal radiasi inframerah dekat dari piksel, Red adalah kanal radiasi cahaya merah dari piksel, Green adalah kanal radiasi cahaya hijau dari piksel, Nilai NDVI berkisar dari -1 (lahan tidak bervegetasi) sampai +1 (vegetasi lebat dan rapat).

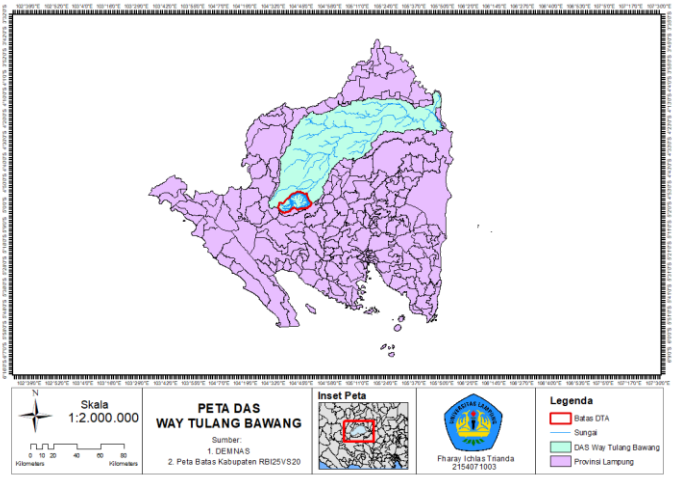
Hubungan antara nilai NDVI dan NDWI dikembangkan melalui persamaan linear umum, yaitu Y = a + b X, di mana Y adalah nilai indeks NDWI, X adalah nilai indeks NDVI, a dan b adalah konstanta.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Daerah Tangkapan Air

3.1.1 Posisi Geografis dan Luas Area

Daerah tangkapan air (*catchment area*) Bendungan Way Rarem terletak di wilayah Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung. Secara geografis, wilayah ini berada pada koordinat antara 105°11'20" BT hingga 105°17'55" BT dan 4°39'30" LS hingga 4°43'45" LS. Posisi ini menunjukkan bahwa daerah tangkapan air berada di zona tropis dengan karakteristik iklim basah, yang berpengaruh besar terhadap dinamika hidrologi di wilayah tersebut.



Gambar 2. Peta DAS Way Tulang Bawang

3.1.2 Bentuk Daerah Tangkapan Air

Dalam kajian hidrologi, bentuk daerah tangkapan air (*catchment area*) memengaruhi respon hidrologis suatu wilayah. Morfometri seperti compactness dan elongation menentukan kecepatan dan pola aliran air. Bentuk cekungan yang mendekati bulat memungkinkan air hujan mengalir lebih cepat dan merata, sedangkan bentuk memanjang menyebabkan aliran lebih lambat dan tidak seragam (Boothroyd et al., 2023). Analisis morfometri DAS dilakukan melalui tiga parameter utama, yaitu form factor, circularity ratio, dan elongation ratio, yang menggambarkan sejauh mana bentuk DAS mendekati lingkaran atau memanjang (Gordon et al., 2004). DAS berbentuk bulat cenderung menghasilkan debit puncak tinggi dalam waktu singkat, sedangkan DAS memanjang memiliki waktu konsentrasi lebih lama dengan debit puncak lebih rendah.

3.1.3 Orde Sungai

Hasil analisis menunjukkan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki luas 30.124,9 hektar dengan keliling 109,56 km². Luas DAS yang cukup besar ini menunjukkan kapasitasnya dalam menampung dan menyalurkan air hujan menuju sungai utama dan bendungan, sementara keliling DAS mencerminkan batas kontur yang mengelilinginya. Kombinasi antara luas dan keliling ini dapat memberikan gambaran mengenai bentuk DAS, di mana perbandingan keduanya berperan dalam menentukan kecepatan konsentrasi aliran serta respon hidrologi terhadap curah hujan. Dengan demikian, data keliling dan luas ini menjadi dasar penting untuk memahami karakteristik hidrologi serta perencanaan pengelolaan sumber daya air di Bendungan Way Rarem.

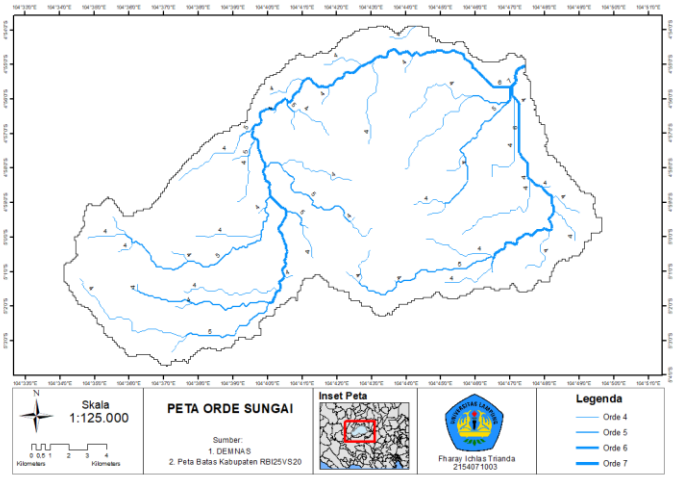
$$Re \quad = 1{,}192 \times \frac{A^{\frac{1}{2}}}{L_b} \tag{3}$$

dimana Rc adalah nisbah memanjang, A adalah luas DAS (km^2), L_b adalah panjang sungai utama (km).

$$Rc = \frac{4\pi A}{\rho^2} \quad (4)$$

dimana Rc adalah nisbah kebulatan, A adalah luas DAS (km^2), ρ adalah perimeter/keliling DAS (km), π = tetapan 3,14.

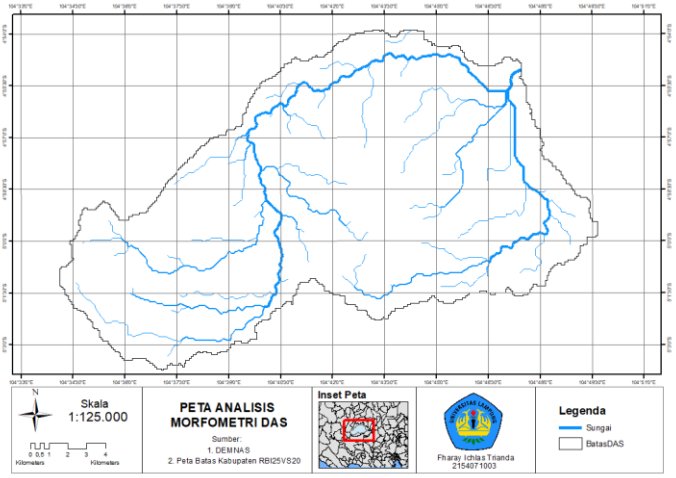
Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Re sebesar 0,42 dan Rc sebesar 0,32 menunjukkan bahwa DAS Way Rarem memiliki bentuk memanjang dengan tingkat kebulatan rendah. Kondisi ini menyebabkan aliran permukaan membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai sungai utama, sehingga debit puncak banjir relatif lebih kecil dan respon hidrograf lebih landai. Dengan demikian, bentuk DAS ini cenderung lebih aman terhadap risiko banjir bandang dibandingkan DAS berbentuk bulat. Bentuk DAS Way Rarem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta orde sungai

3.1.4 Morfometri Sungai

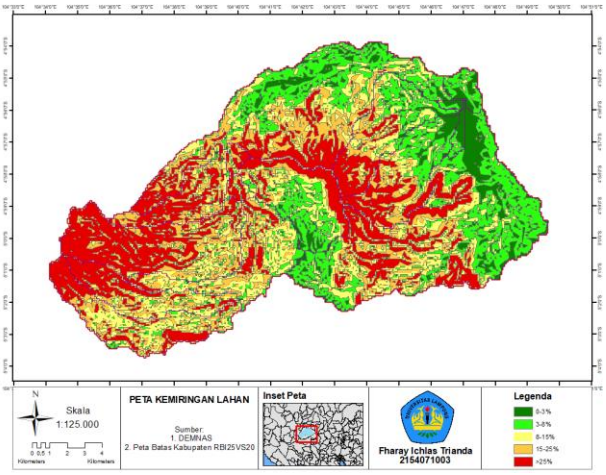
Morfometri adalah suatu kajian yang digunakan untuk mengukur secara kuantitatif berbagai karakteristik fisik yang berhubungan dengan bentuk dan kondisi geomorfologi suatu wilayah. Dalam konteks Daerah Aliran Sungai (DAS), morfometri digunakan untuk menggambarkan kondisi jaringan aliran sungai secara numerik atau terukur.



Gambar 4. Peta analisis morfometri DAS

3.1.5 Kemiringan Lahan

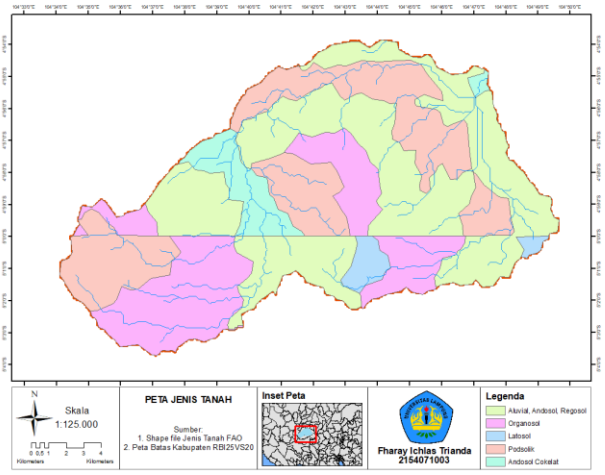
Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Rarem Hulu memiliki variasi kemiringan lahan mulai dari 0% hingga lebih dari 25%. Lahan dengan kemiringan 0–3% (kelas 1) mencakup 2.577,82 hektar atau sekitar 10,61%. Lahan dengan kemiringan 3–8% (kelas 2) meliputi 7.186,03 hektar (29,61%), sedangkan kemiringan 8–15% (kelas 3) seluas 5.821,40 hektar (23,99%). Pada kelas 4 dengan kemiringan 15–25%, luas lahan mencapai 6.331,25 hektar (26,10%), dan lahan dengan kemiringan lebih dari 25% (kelas 5) mencakup 8.194,96 hektar atau sekitar 33,70% dari total luas DAS. Untuk peta kemiringan lahan pada DAS Way Rarem dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta kemiringan lahan

3.1.6 Jenis Tanah

Hasil analisis peta tanah menunjukkan bahwa daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem memiliki keragaman jenis tanah yang kompleks. Jenis tanah dominan adalah Aluvial, Andosol, dan Regosol dengan total luasan sekitar 12.662,53 ha (42,05%), yang berperan besar dalam menentukan karakter fisik lahan. Jenis tanah lain seperti Organosol mencakup 6.959,07 ha (23,11%), berpotensi tinggi dalam penyimpanan air karena kandungan bahan organiknya. Podsolik Merkun meliputi 8.136,10 ha (27,01%) dengan tingkat keasaman tinggi dan kesuburan rendah, sedangkan Latosol dan Andosol Cokelat memiliki sebaran lebih kecil, masing-masing 2,27% dan 5,54% dari total wilayah. Komposisi ini mencerminkan variasi sifat fisik dan kimia tanah yang berpengaruh terhadap kemampuan infiltrasi dan daya simpan air di daerah tangkapan.



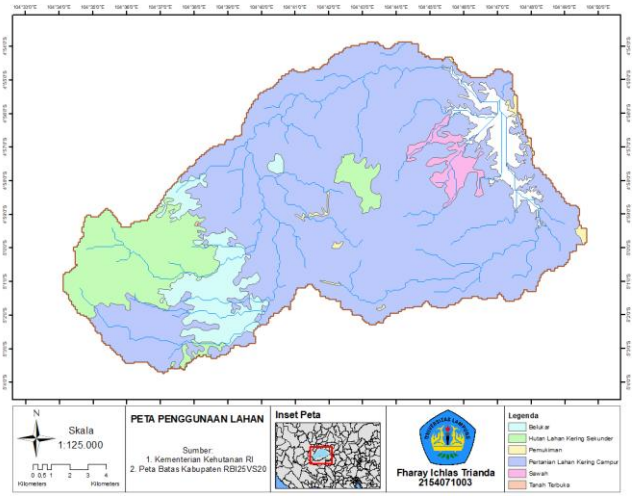
Gambar 6. Peta jenis tanah

3.1.7 Penutupan Lahan

Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan, diketahui bahwa penggunaan lahan di daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem didominasi oleh pertanian lahan kering campur dengan luas sekitar 22.215,92 hektar (76,72%), menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya dan pertanian non-irigasi. Hutan lahan kering sekunder menempati urutan kedua dengan luasan 3.833,65 hektar (13,24%), yang berfungsi penting sebagai daerah resapan air dan penyangga ekosistem. Sementara itu, belukar mencakup 2.091 hektar (7,22%), menggambarkan area vegetasi sekunder hasil regenerasi alami dari lahan yang sebelumnya terganggu. Penggunaan lahan lain seperti sawah (647,14 ha; 2,23%), permukiman (164,05 ha; 0,57%), dan tanah terbuka (4,56 ha; 0,02%) memiliki proporsi yang relatif kecil. Komposisi ini menunjukkan bahwa kegiatan pertanian menjadi aktivitas dominan di wilayah tangkapan air, yang berpotensi memengaruhi infiltrasi, limpasan permukaan, serta ketersediaan air waduk apabila tidak diimbangi dengan pengelolaan lahan berkelanjutan.

Tabel 3. Penutupan lahan 2019

No.	Bentuk Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Luas (%)
1	Belukar	2.091	7,22
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	3.833,65	13,24
3	Pemukiman	164,05	0,57
4	Pertanian Lahan Kering Campur	22.215,92	76,72
5	Sawah	647,14	2,23
6	Tanah Terbuka	4,56	0,02
	Total	28956,32	100,00



Gambar 7. Peta penggunaan lahan

3.2 Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan suatu indeks yang digunakan untuk menilai tingkat kerapatan sekaligus kondisi kesehatan vegetasi dengan cara membandingkan nilai reflektansi cahaya merah (*red*) dan inframerah dekat (*near-infrared*/NIR). Rentang nilai NDVI berada antara -1 hingga +1, di mana angka yang mendekati +1 menandakan vegetasi yang rapat serta sehat, sedangkan nilai yang mendekati -1 menggambarkan wilayah tanpa vegetasi atau vegetasi dalam kondisi kurang baik.

Hasil perhitungan nilai indeks NDVI pada tabel 4 menunjukkan bahwa kisaran nilai minimum berkisar antara –0,50 hingga –0,001, sedangkan nilai maksimum antara 0,49 hingga 0,72. Nilai rata-

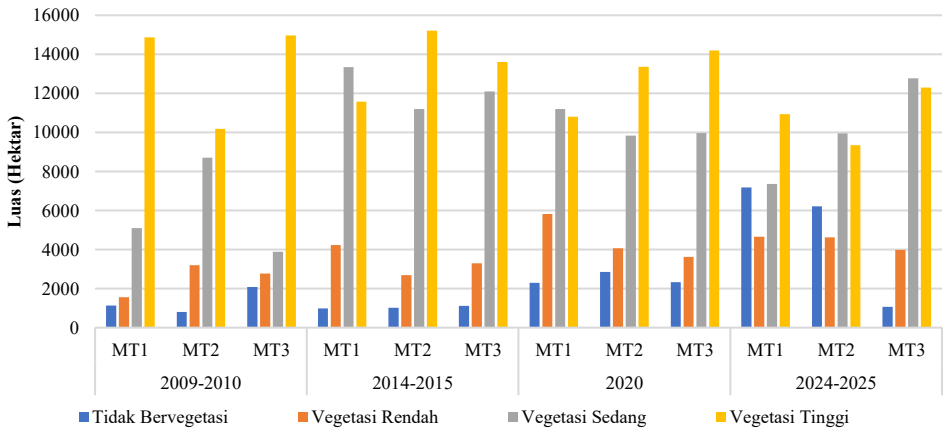
rata NDVI (*mean*) berada pada rentang 0,26–0,37, yang menunjukkan dominasi tutupan lahan dengan vegetasi sedang hingga tinggi. Nilai mean tertinggi terdapat pada tahun 2014–2015 (0,36–0,37), yang menandakan kondisi vegetasi paling rapat selama periode pengamatan, sedangkan nilai terendah muncul pada tahun 2025 (0,26–0,27), menggambarkan penurunan tingkat kehijauan lahan. Standar deviasi (*Std. Dev*) antara 0,07–0,18 menunjukkan variasi spasial yang cukup tinggi antar area. Secara keseluruhan, data NDVI mengonfirmasi pola pada grafik bahwa vegetasi di daerah tangkapan air Way Rarem mengalami penurunan kerapatan dari waktu ke waktu, yang berpotensi memengaruhi keseimbangan hidrologi dan ketersediaan air waduk.

Tabel 4. Indeks kerapatan vegetasi

No.	Tahun	Musim Tanam	Min	Max	Mean	Std dev.
1.	2009	MT2	-0,42	0,53	0,34	0,09
2.	2010	MT1	-0,5	0,55	0,32	0,18
3.	2010	MT3	-0,44	0,53	0,27	0,2
4.	2014	MT3	0,05	0,52	0,36	0,07
5.	2015	MT1	0,02	0,49	0,32	0,07
6.	2015	MT2	-0,14	0,55	0,37	0,08
7.	2020	MT1	-0,03	0,7	0,28	0,1
8.	2020	MT2	-0,23	0,64	0,33	0,12
9.	2020	MT3	-0,001	0,84	0,33	0,1
10.	2024	MT3	-0,03	0,68	0,35	0,08
11.	2025	MT1	-0,04	0,72	0,26	0,15
12.	2025	MT2	-0,006	0,6	0,27	0,13

Keterangan : MT1: masa tanam 1; MT2: masa tanam 2; dan MT3: masa tanam 3

Berdasarkan hasil analisis kerapatan vegetasi, daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem didominasi oleh vegetasi tinggi dan vegetasi sedang sepanjang periode 2009–2025. Luas vegetasi tinggi mencapai puncak pada tahun 2015 MT2 (15.216,77 ha), menandakan kondisi tutupan lahan yang baik, namun menurun tajam pada 2025 MT1 (9.339,81 ha) disertai peningkatan area tidak bervegetasi hingga 7.181,94 ha. Vegetasi sedang cenderung stabil pada kisaran 9.000–13.000 ha, sedangkan vegetasi rendah menunjukkan fluktuasi. Secara umum, terjadi penurunan kerapatan vegetasi di wilayah tangkapan, yang mengindikasikan adanya degradasi lahan akibat perubahan penggunaan lahan dan peningkatan aktivitas pertanian, serta berpotensi mengurangi kemampuan daerah tangkapan air dalam menahan dan menyimpan air waduk.



Gambar 8. Sebaran tingkat kerapatan vegetasi

3.3 Tingkat Kebasahan (NDWI)

Normalized Difference Water Index (NDWI) digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kebasahan pada citra penginderaan jauh. Indeks ini merupakan metode yang memanfaatkan citra satelit untuk menilai kondisi kelembapan. Melalui NDWI, dapat diperoleh informasi mengenai kadar kebasahan objek, termasuk kelembapan tanah maupun vegetasi pada suatu kawasan.

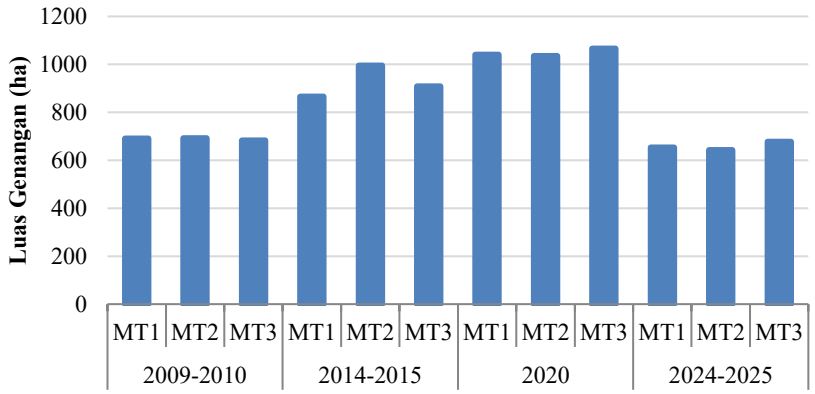
Berdasarkan hasil analisis pada tabel nilai NDWI, diperoleh kisaran nilai minimum antara –0,74 hingga –0,46 dan nilai maksimum antara 0,003 hingga 0,19. Nilai rata-rata (mean) NDWI berkisar antara –0,34 hingga –0,21, yang menunjukkan bahwa sebagian besar area di daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem tergolong tidak berair atau memiliki tingkat kelembapan rendah. Nilai mean tertinggi terjadi pada tahun 2010 (–0,21) yang menandakan kondisi permukaan relatif lebih lembap, sedangkan nilai terendah terdapat pada tahun 2015 MT2 (–0,34) dan 2024 MT3 (–0,34) yang menunjukkan penurunan signifikan kelembapan lahan. Nilai standar deviasi (Std. Dev) berkisar antara 0,06–0,18, menandakan adanya variasi spasial kelembapan antar area yang cukup tinggi. Secara umum, tren NDWI menunjukkan penurunan dari tahun 2009 hingga 2025, yang mengindikasikan berkurangnya luas daerah berair akibat penurunan vegetasi dan meningkatnya aktivitas lahan kering di sekitar daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem.

Tabel 5. Indeks NDWI

No.	Tahun	Musim Tanam	Min.	Max.	Mean	Std dev.
1.	2009	MT2	-0,48	0,06	-0,22	0,14
2.	2010	MT1	-0,46	0,08	-0,21	0,18
3.	2010	MT3	-0,46	0,02	-0,23	0,15
4.	2014	MT3	-0,53	0,04	0,34	0,06
5.	2015	MT1	-0,46	0,003	-0,3	0,06
6.	2015	MT2	-0,51	0,1	-0,34	0,08
7.	2020	MT1	-0,66	0,07	-0,27	0,09
8.	2020	MT2	-0,6	0,19	-0,3	0,11
9.	2020	MT3	-0,74	0,03	-0,31	0,09
10.	2024	MT3	-0,71	0,04	-0,34	0,07
11.	2025	MT1	-0,65	0,06	-0,25	0,13
12.	2025	MT2	-0,54	0,02	-0,25	0,12

Keterangan : MT1: masa tanam 1; MT2: masa tanam 2; dan MT3: masa tanam 3

Data pada Gambar 9 memperkuat pola pada grafik, di mana luas genangan tertinggi tercatat pada tahun 2020 MT3 (1.066,24 ha) dan terendah pada tahun 2025 MT2 (642,56 ha). Sebaliknya, luas daerah tidak tergenang meningkat dari 1.182,32 ha pada 2009 menjadi 1.898,01 ha pada 2025, menunjukkan penyusutan area genangan yang signifikan. Perubahan ini menandakan adanya pergeseran kondisi hidrologi waduk akibat penurunan pasokan air dari daerah tangkapan dan peningkatan material sedimen di dasar waduk. Dengan demikian, tren tersebut menggambarkan bahwa efisiensi penyimpanan air Bendungan Way Rarem semakin menurun dari tahun ke tahun, sehingga diperlukan upaya konservasi vegetasi dan pengendalian erosi di daerah tangkapan air.



Gambar 9. Luas Genangan Bendungan Way Rarem berdasarkan hasil analisis NDWI

3.4 Proyeksi Tinggi Muka Air dan Volume Simpanan Waduk

Analisis proyeksi volume simpanan air waduk dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu melalui *fitting* nilai luas genangan hasil analisis NDWI ke dalam kurva karakteristik bendungan Way Rarem. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 6, diketahui bahwa luas genangan air Waduk Way Rarem mengalami fluktuasi dari tahun 2009 hingga 2025. Luas genangan terkecil tercatat pada tahun 2025 MT2 sebesar 6.425.600 m², sedangkan luas genangan terbesar terjadi pada tahun 2020 MT3 mencapai 10.662.400 m². Nilai tinggi muka air (TMA) dari model matematis menunjukkan kisaran 48,03–52,96 mdpl, sedangkan volume simpanan air waduk berada pada rentang 43,17–43,66 juta m³. Hasil ini konsisten dengan data fitting kurva yang menunjukkan nilai volume tertinggi juga pada tahun 2020 MT3 sebesar 43,72 juta m³. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tahun 2020 merupakan periode dengan kapasitas tampungan maksimum waduk, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi vegetasi yang masih baik dan curah hujan yang tinggi. Sementara pada periode 2024–2025, volume simpanan air menurun hingga sekitar 43,06 juta m³, sejalan dengan berkurangnya luas genangan dan meningkatnya sedimentasi di dasar waduk. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan adanya penurunan kapasitas tampungan air yang mengindikasikan terjadinya degradasi fungsi waduk seiring waktu, sehingga diperlukan pengelolaan daerah tangkapan air secara berkelanjutan untuk menjaga stabilitas volume simpanan air Bendungan Way Rarem.

Tabel 6. Prediksi tinggi muka air dan volume simpanan air waduk

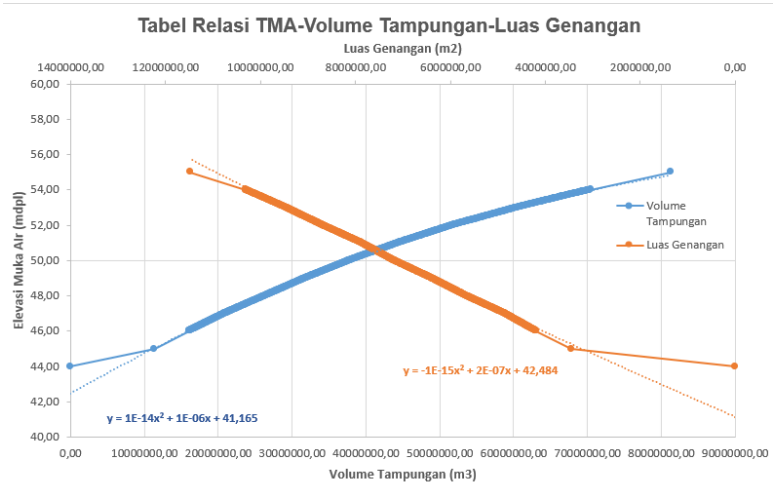
No.	Tahun	Musim Tanam	Luas Genangan (m²)	Model Matematis		Fitting Kurva	
				TMA (mdpl)	Volume (Juta m³)	TMA (mdpl)	Volume (Juta m³)
1	2009	MT2	6.918.900	48,562	43,223	49,09	43,26
2	2010	MT1	6.909.300	48,551	43,222	48,82	43,33
3	2010	MT3	6.833.300	48,465	43,214	48,39	43,19
4	2014	MT3	9.089.800	51,081	43,475	51,06	43,46
5	2015	MT1	8.654.800	50,568	43,424	50,59	43,39
6	2015	MT2	9.946.400	52,1	43,577	52,08	43,53
7	2020	MT1	10.404.300	52,651	43,632	52,62	43,66
8	2020	MT2	10.350.300	52,586	43,626	52,6	43,59
9	2020	MT3	10.662.400	52,964	43,663	52,96	43,72
10	2024	MT3	6.770.500	48,393	43,206	48,36	43,18
11	2025	MT1	6.535.500	48,127	43,18	48,13	43,13
12	2025	MT2	6.425.600	48,003	43,167	48,01	43,06

$$\frac{A}{B} = \frac{x}{y}$$

atau

$$\frac{21{,}58}{28{,}45} = \frac{x}{17.216}$$

A merupakan 50% dari volume waduk pada tahun 2025, sedangkan B merupakan 50% dari volume waduk berdasarkan penelitian Susilo (2019). Nilai x menunjukkan luas daerah irigasi pada tahun 2025, sementara y merupakan luas daerah irigasi yang dilaporkan pada penelitian Susilo (2019). Formula ini digunakan untuk memperoleh luas irigasi tahun 2025 berdasarkan perbandingan proporsional antara volume waduk kedua periode tersebut.



Gambar 10. Kurva Pola Operasi Bendungan Way Rarem
(Sumber: Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji-Sekampung)

3.5 Hubungan Nilai NDVI dan NDWI

Hasil analisis hubungan antara *Normalized Difference Water Index* (NDWI) dengan distribusi kerapatan vegetasi (X1–X4) menunjukkan adanya keterkaitan yang sangat erat. Berdasarkan model regresi polinomial orde empat, diperoleh persamaan:

$$Y = a + b1X1 + b2X2 + b3X3 + b4X4$$

atau

$$Y = -1650{,}25 + 0{,}008X1 + 0{,}17X2 + 0{,}03X3 + 0{,}12X4$$

Dimana, Y merupakan nilai NDWI, sedangkan X1 hingga X4 merepresentasikan kategori penutup lahan berdasarkan tingkat vegetasi. X1 menunjukkan area yang tidak ada vegetasi, X2 menggambarkan area dengan vegetasi rendah, X3 menunjukkan wilayah dengan vegetasi sedang, dan X4 mewakili area dengan vegetasi tinggi. Selain itu, a dan b merupakan konstanta yang digunakan dalam model atau persamaan yang mengikutsertakan variabel-variabel tersebut. dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0{,}719$. hal ini menunjukkan bahwa 71,9% dari perubahan nilai NDWI dapat dijelaskan oleh variabel-variabel seperti luas area tidak bervegetasi (X1), vegetasi rendah (X2), vegetasi sedang (X3), dan vegetasi tinggi (X4).

Meskipun model menunjukkan nilai koefisien determinasi yang cukup tinggi ($R^2 = 0{,}719$), masih terdapat sekitar 28,1% variasi nilai NDWI yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel kerapatan vegetasi. Hal ini mengindikasikan adanya faktor lain yang turut memengaruhi kondisi kebasahan

lahan. Beberapa faktor tersebut antara lain proses evapotranspirasi yang dapat mengurangi kandungan air permukaan, karakteristik fisik tanah seperti tekstur, struktur, dan porositas yang memengaruhi kapasitas infiltrasi dan retensi air, serta kondisi topografi yang berperan dalam distribusi aliran air. Selain itu, variabilitas curah hujan spasial dan temporal juga menjadi faktor penting yang memengaruhi nilai NDWI. Oleh karena itu, integrasi variabel-variabel hidrologi dan sifat tanah dalam penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk meningkatkan akurasi model dalam menggambarkan dinamika ketersediaan air di wilayah DAS Way Rarem Hulu.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai NDWI hasil pengamatan memiliki kesesuaian tinggi dengan nilai prediksi model, ditunjukkan oleh perbedaan yang relatif kecil pada setiap titik data. Hal ini menandakan bahwa model yang digunakan cukup valid untuk menggambarkan hubungan antara kerapatan vegetasi dan ketersediaan air di daerah penelitian. Berdasarkan model regresi polinomial orde empat, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,719 dan korelasi (R) sebesar 0,848, yang menunjukkan hubungan kuat antara NDWI dan tingkat vegetasi.

Meskipun model menunjukkan nilai koefisien determinasi yang cukup tinggi ($R^2 = 0,719$), masih terdapat sekitar 28,1% variasi nilai NDWI yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel kerapatan vegetasi. Hal ini mengindikasikan adanya faktor lain yang turut memengaruhi kondisi kebasahan lahan. Beberapa faktor tersebut antara lain proses evapotranspirasi yang dapat mengurangi kandungan air permukaan, karakteristik fisik tanah seperti tekstur, struktur, dan porositas yang memengaruhi kapasitas infiltrasi dan retensi air, serta kondisi topografi yang berperan dalam distribusi aliran air. Selain itu, variabilitas curah hujan spasial dan temporal juga menjadi faktor penting yang memengaruhi nilai NDWI. Oleh karena itu, integrasi variabel-variabel hidrologi dan sifat tanah dalam penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk meningkatkan akurasi model dalam menggambarkan dinamika ketersediaan air di wilayah DAS Way Rarem Hulu.

Secara ekologis, peningkatan nilai NDWI sejalan dengan bertambahnya kerapatan vegetasi, terutama pada kelas vegetasi sedang dan tinggi yang berperan penting dalam menjaga kelembapan tanah, menahan erosi, serta meningkatkan infiltrasi air. Sebaliknya, lahan tidak bervegetasi memiliki nilai NDWI rendah karena minim kemampuan menyimpan air. Kondisi ini menegaskan bahwa semakin rapat vegetasi, semakin besar pula potensi simpanan air dalam tanah, sedangkan penurunan vegetasi menyebabkan berkurangnya ketersediaan air di daerah tangkapan. Selain itu, nilai koefisien limpasan (C) yang berkorelasi erat dengan penggunaan lahan juga memperkuat temuan ini, di mana perubahan tutupan lahan dan kondisi tanah secara langsung memengaruhi pola aliran permukaan dan keseimbangan hidrologi di DAS Way Rarem Hulu.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah telah terjadi degradasi signifikan pada daerah tangkapan air Bendungan Way Rarem selama periode 2009–2025, yang ditandai dengan peningkatan sangat tajam luas lahan tidak bervegetasi sebesar 669%, dari 807 ha menjadi 6.209 ha. Peningkatan juga terjadi pada vegetasi rendah, sementara vegetasi tinggi justru mengalami penurunan, yang mengindikasikan memburuknya kualitas tutupan lahan. Sejalan dengan itu, hasil analisis NDWI menunjukkan penurunan luas genangan waduk sebesar 7,09%, yang mencerminkan berkurangnya kapasitas simpanan air. Hubungan antara kondisi vegetasi dan kebasahan lahan tergolong kuat ($R^2 = 0,719$), menegaskan bahwa perubahan tutupan lahan berkontribusi terhadap penurunan ketersediaan air. Dampaknya, luas layanan irigasi diperkirakan menurun sebesar 23,09% dari rencana awal. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan pentingnya pengelolaan daerah tangkapan air berbasis tutupan lahan untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air di wilayah penelitian.

4.2 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

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.

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.

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.

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.

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).

Susilo, G. E. (2019). Pengaruh rehabilitasi jaringan irigasi dan kapasitas tampung waduk terhadap kenaikan produktivitas tanam di daerah irigasi. *Rekayasa Sipil*, 13(1), 9-15.