



Evaluasi *Catchment Area Waduk Batutegi Terhadap Simpanan Air Waduk*

Evaluation of the Batutegi Reservoir Catchment Area on the Reservoir Water Storage

Silvia Angelina LB¹, Ridwan¹, Siti Suharyatun^{1*}, Sandi Asmara¹

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

*Corresponding Author: sitisuharyatun149@gmail.com

Abstract. *Batutegi Reservoir is one of the important surface water resources in Lampung Province because the potential water it contains has many functions and uses, including as a source of irrigation water for the Sekampung System irrigation area and as a source of water for hydroelectric power plants (PLTA). In order to maintain the sustainability of the reservoir's functions and uses, efforts are needed to maintain the water balance of the reservoir. In this study, an analysis of the physical characteristics and environmental conditions of the Batutegi reservoir catchment area and their influence on reservoir water storage is conducted, aiming to determine the optimum catchment area size that needs to be maintained. Data from various sources, including Landsat 7 and 8 OLI images, are used to evaluate changes in the catchment area conditions during the period of 2004-2023. The research results show that the highest coefficient of determination (R^2) between NDVI and NDWI is indicated in land cover conditions with very low density (class 1) at 95.59%, followed by high density (class 4) at 94.80%, low density (class 2) at 92.31%, and medium density (class 3) at 87.58%. The area of land cover with dense vegetation conditions in the Upper Sekampung Watershed as the catchment area of the Batutegi reservoir tends to decrease over time. Analysis of Landsat images using the Normalized Difference Water Index (NDWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) methods can assist in mapping vegetation conditions and the extent of the Batutegi reservoir inundation.*

Keywords: *Catchment Area, Landsat Imagery, NDVI, NDWI, Reservoir.*

1. Pendahuluan

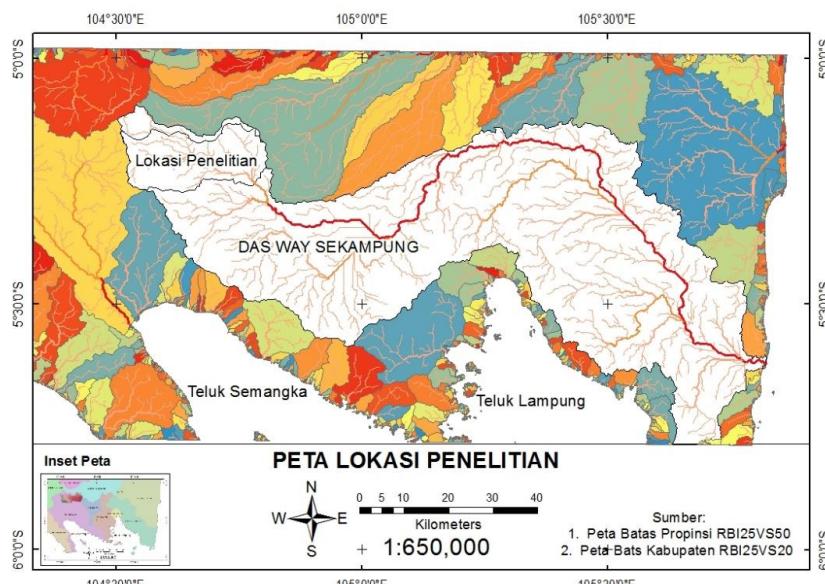
Sumber daya air merupakan aset vital bagi keberlangsungan kehidupan dan pembangunan suatu wilayah. Waduk Batutegi merupakan salah satu infrastruktur penting dalam pengelolaan sumber daya air di wilayah ini. Dengan luas area dan kontribusinya terhadap penyediaan air bagi kegiatan pertanian, industri, dan masyarakat umum, pemahaman yang mendalam terhadap catchment area dan simpanan air waduk ini menjadi krusial. Catchment area, memainkan peran utama dalam menentukan kualitas dan kuantitas air yang mengalir ke waduk. Keadaan alamiah seperti kelerengan, jenis tanah, dan penutupan lahan oleh vegetasi di catchment area secara langsung memengaruhi debit air yang masuk ke dalam waduk.

Evaluasi yang cermat terhadap catchment area Waduk Batutegi menjadi langkah penting dalam upaya menjaga keberlanjutan sumber daya air di wilayah ini. Dengan menganalisis perubahan kondisi lingkungan dari saat beroperasionalnya bendungan dan waduk Batutegi hingga saat ini, serta prakiraan perubahan yang mungkin terjadi di masa depan, dapat dirancang strategi pengelolaan lingkungan yang efektif untuk memastikan keberlanjutan sumber daya air di dalam waduk. Selain itu, pemahaman yang mendalam terhadap simpanan air waduk, baik dalam aspek kuantitas maupun kualitas, sangat diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya air tersebut. Dengan mengevaluasi simpanan air waduk secara berkala dari tahun 2004 sampai dengan 2023, dapat diidentifikasi potensi risiko terhadap keberlanjutan pasokan air, serta dirancang upaya yang tepat guna menjaga ketersediaan air dalam jangka panjang.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi menyeluruh terhadap catchment area Waduk Batutegi serta simpanan air waduknya. Dengan memanfaatkan data terkini dan metode analisis yang tepat, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap dinamika sumber daya air di wilayah ini serta menyusun rekomendasi strategis bagi pengelolaan yang berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2023 sampai dengan Januari 2024, di Laboratorium Teknik Sumberdaya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian ini mengambil data di kabupaten Tanggamus dengan lokasi penelitian seperti disajikan pada Gambar 1.

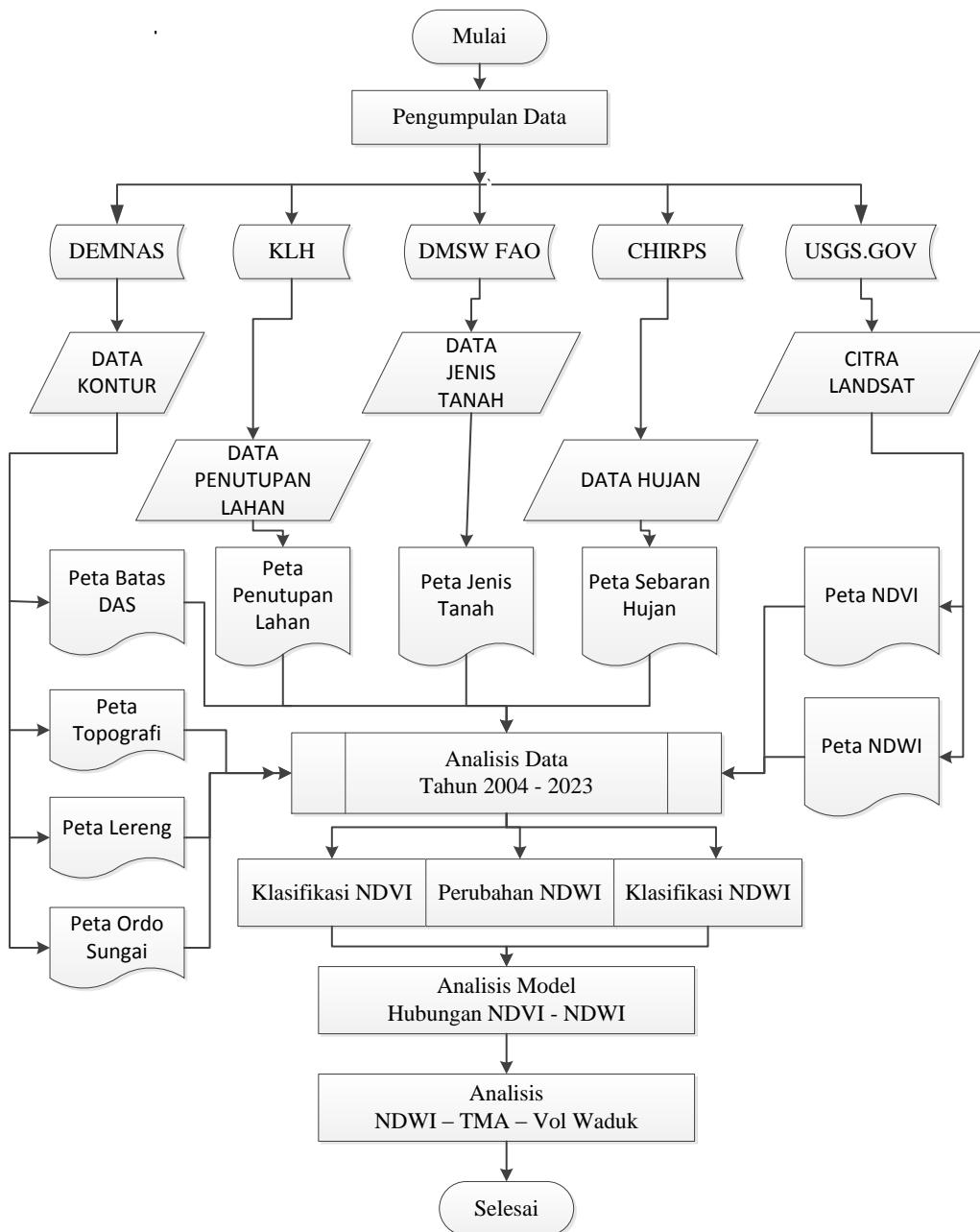


Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: Laptop RAM 8 GB, Software ArcGis 10.3, Software Microsoft Excel, Software Microsoft Office, dan Google Earth Pro. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa data spasial, yaitu Citra Landsat 7 ETM+, Citra Landsat 8 OLI, Peta Administrasi Kabupaten Tanggamus, DEM wilayah Kabupaten Tanggamus, Peta Penggunaan Lahan, Peta Jenis Tanah, Peta Kemiringan Lahan, Peta Topografi Lahan, Peta Curah Hujan, Peta Kerapatan Vegetasi, dan Peta Indeks Air.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang akan dijelaskan menggunakan diagram alir yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut

1. Tahap Persiapan Alat

Tahap persiapan alat yaitu mempersiapkan semua alat yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu laptop, peralatan tulis, *software* Microsoft Office, Microsoft Excel, dan ArcGIS 10.3.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data yaitu mengumpulkan data melalui survei instansional. Dari pengumpulan data melalui survei instansional didapatkan peta administrasi kabupaten Tanggamus, DEM wilayah kabupaten tanggamus, peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, peta kemiringan lahan, peta topografi lahan, peta curah hujan, peta kerapatan vegetasi, dan peta indeks air.

3. Analisis Data

Data dari hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis proyeksi volume simpanan air waduk yang dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu melalui fitting nilai luas genangan hasil analisis NDWI ke dalam kurva karakteristik waduk Batutegi, dan melalui pendekatan model matematika sebagaimana diungkapkan oleh Ridwan (2014). Analisis hubungan antara luas penutupan lahan dengan luas genangan waduk dilakukan dengan cara fitting nilai luas penutupan lahan untuk setiap klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi (NDVI) dengan luas genangan hasil analisis NDWI ke dalam kurva X – Y. Oleh karena terdapat perbedaan nilai yang sangat kontras antara kedua variabel yang diperbandingkan, maka dalam analisis digunakan data konversi logaritmik untuk setiap variabel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Catchment Area

3.1.1 Posisi Geografis dan Luas

Daerah Aliran Sungai (DAS) Sekampung merupakan salah satu dari delapan DAS di Propinsi Lampung selain DAS Seputih, Semangka, Mesuji, Tulang Bawang, Way Siring Ulubelu, Way Krui-Tambuli, dan Way Jepara. DAS Sekampung terletak di antara $104^{\circ}31'00''$ - $105^{\circ}49'00''$ BT dan $05^{\circ}10'00''$ - $05^{\circ}50'00''$ LS, melintasi 5 kabupaten dan 2 kota yaitu Kabupaten Tanggamus, Pringsewu, Pesawaran, Lampung Selatan, Lampung Timur, Kota Bandar Lampung dan Kota Metro. Luas DAS merupakan salah satu karakteristik fisik DAS yang penting untuk diketahui dalam pengaruhnya terhadap produksi air (water yield) suatu DAS. DAS Sekampung terbagi dalam enam Sub DAS yaitu Sub DAS Sekampung Hulu, Sekampung Hilir, Bulok, Semah, Kandis, dan Ketibung. DAS Sekampung hulu sebagai wilayah kajian dalam penelitian ini berdasarkan hasil analisis pembentukan DAS (*catchment area*) menggunakan data *digital elevation model* (DEM) mencakup areal seluas 4.868,75 Ha dan terletak pada posisi geografis antara $5^{\circ}08'0''$ - $5^{\circ}17'00''$ LS dan $104^{\circ}30'00''$ - $104^{\circ}50'00''$ BT (Gambar 1).

3.1.2 Bentuk Catchment Area

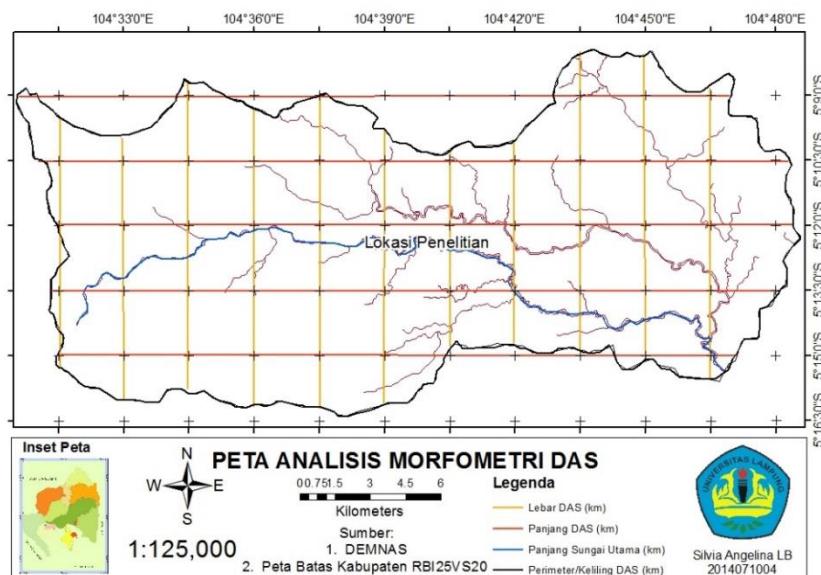
Bentuk suatu DAS dapat dinilai melalui tiga pendekatan (Nancy dkk., 2004), yaitu nilai faktor bentuk (form factor/F (Horton, 1932)), rasio kebulatan (circularity ratio/c (Miller, 1953)), dan rasio kepanjangan (elongation ratio/E (Schumm's, 1956)). Berdasarkan hasil pengukuran Peta DAS Sekampung Hulu skala 1:125.000 diketahui panjang DAS dari $104030'00''$ - $104050'00''$ BT rata-rata sejauh 30,62 km dan dari $5008'0''$ - $5017'00''$ LS rata-rata sejauh 11,58 km, sehingga membentuk DAS dengan ukuran keliling sepanjang 100,96 km dan luas sebesar 35.462 Ha. Morfometri DAS diperkirakan dengan menggunakan nisbah memanjang (*elongation ratio/Re*) dan nisbah kebulatan (*circularity ratio/Rc*), dengan formulasi perhitungan masing-masing sebagai berikut (Indrapraja, dkk. 2020):

$$Re = 1,192 \times \frac{A^{1/2}}{L_b} \quad (1)$$

dimana Re adalah nisbah memanjang, A adalah luas DAS (km²), Lb adalah panjang sungai utama (km).

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

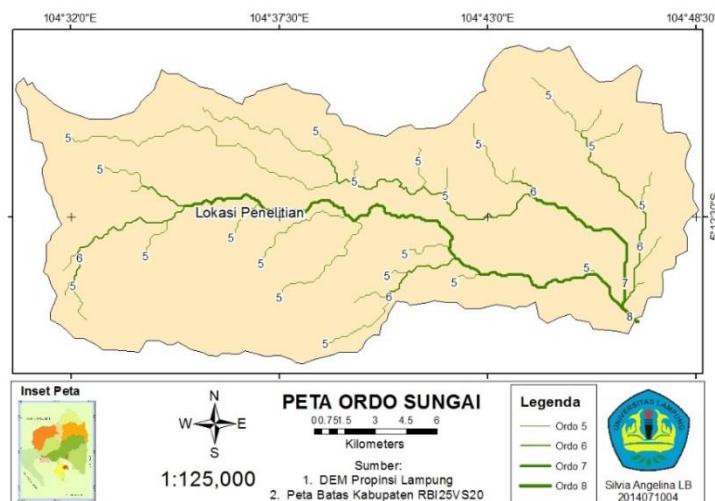
dimana Rc adalah nisbah kebulatan, A adalah luas DAS (km²), ρ adalah perimeter/ keliling DAS (km), π adalah tetapan 3,14 sehingga diperoleh koefisien bentuk sub DAS Sekampung hulu (Rc = 0,43 dan Re = 0,62) menggambarkan DAS Sekampung Hulu berbentuk kipas agak memanjang (Ridwan, 2014 dan Rafael, dkk., 2020).



Gambar 3. Peta analisis morfometri

3.1.3 Ordo Sungai

Dalam perjalanan air hujan di DAS, air hujan mula-mula akan terkumpul (terkonsentrasi) di sungai-sungai tingkat satu sebelum mengalir ke sungai dengan tingkat lebih tinggi. Cara penentuan tingkat sungai yang dikembangkan oleh Strahler adalah sungai paling ujung ditetapkan sebagai sungai tingkat satu, jika dua buah sungai dengan tingkat yang sama bertemu, maka terbentuk sungai dengan satu tingkat lebih tinggi. Sungai dengan suatu tingkat tertentu bertemu dengan sungai lain dengan tingkat lebih rendah, maka tidak merubah tingkat sungai yang lebih tinggi.



Gambar 4. Peta ordo sungai

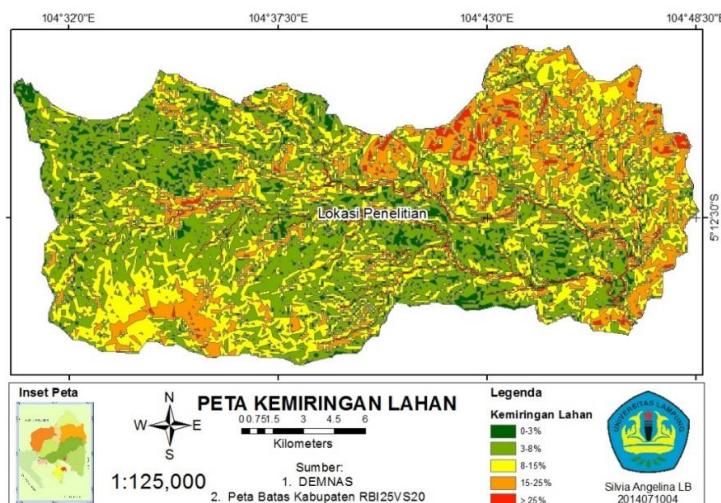
Hasil analisis DEM Sekampung Hulu skala 1:125.000 dapat ditentukan bahwa sub DAS Sekampung Hulu memiliki ordo sungai hingga tingkat 8 (Gambar 4).

3.1.4 Morfometri Sungai

DAS Sekampung Hulu memiliki elevasi tertinggi berada pada titik tinggi 1.750 mdpl sedangkan elevasi terendah berada pada ketinggian 200 mdpl. Dengan beda titik tinggi dan panjang aliran sungai utama 36,35 km, maka kemiringan rata-rata sungai sebesar $1.550 \text{ m} / 36.350 \text{ m} = 0,04264 \text{ m/m}$

3.1.5 Topografi dan Kemiringan Lahan

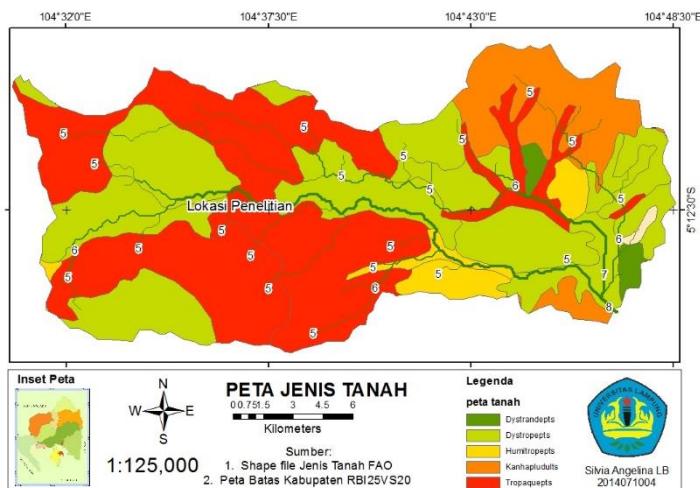
DAS Sekampung Hulu memiliki tingkat kemiringan lahan yang bervariasi mulai dari nol hingga lebih dari 25%. Lahan berlereng 0-3% (kelas 1) mencakup areal seluas 3.141,50 hektar (8,80%), kemudian lahan berlereng 3-8% (kelas 2) seluas 13.920,02 Ha (39,01%), kelas 3 (8-15%) seluas 12.553,88 Ha (35,18%), kelas 4 (15-25%) seluas 5.540,44 Ha (15,53%), dan lebih besar dari 25% seluas 526,43 Ha (1,48%) (Gambar 5).



Gambar 5. Peta kemiringan lahan

3.1.6 Jenis Tanah

Jenis tanah yang terdapat dalam DAS Sekampung Hulu berdasarkan hasil interpretasi peta tanah eksplorasi Provinsi Lampung dengan klasifikasi Pusat Penelitian Tanah Bogor dan padanannya dengan sistem klasifikasi USDA meliputi andosol (Andisol), latosol (Inceptisol), aluvial (Entisol), dan podsolik (Ultisol) (Soil Survey Staff, 2014). Jenis tanah dominan yang terdapat dalam wilayah penelitian adalah latosol dengan luas cakupan 18.355 ha (51,14%) luas wilayah. Jenis tanah aluvial menempati areal seluas 2.159,19 ha (6,04%), kemudian jenis tanah podsolik seluas 15.066,19 ha (42,27%) dan jenis tanah andosol seluas 484,17 ha (1,36%). Peta jenis tanah DAS Sekampung Hulu dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta jenis tanah DAS sekampung hulu

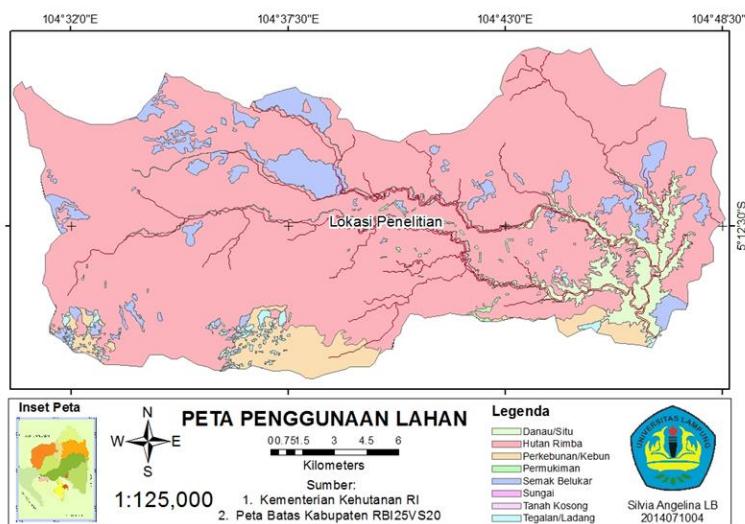
3.1.7 Penutupan Lahan

Bentuk penggunaan lahan DAS Sekampung Hulu meliputi kawasan danau, hutan, kebun, permukiman, semak belukar, tubuh air (sungai), tanah kosong, dan tegalan/ladang. Sebaran masing-masing bentuk penggunaan lahan disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 7.

Tabel 1. Bentuk Penggunaan Lahan DAS Sekampung Hulu

No	Bentuk Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Luas (%)
1.	Danau/Situ	1.633,062	4,57
2.	Hutan Rimba	29.350,977	82,23
3.	Perkebunan/Kebun	1.729,277	4,84
4.	Permukiman dan Tempat Kegiatan	92,961	0,26
5.	Semak Belukar	2.490,805	6,98
6.	Sungai	70,150	0,20
7.	Tanah Kosong/Gundul	37,685	0,11
8.	Tegalan/Ladang	290,952	0,82
	Total	35.695,872	100

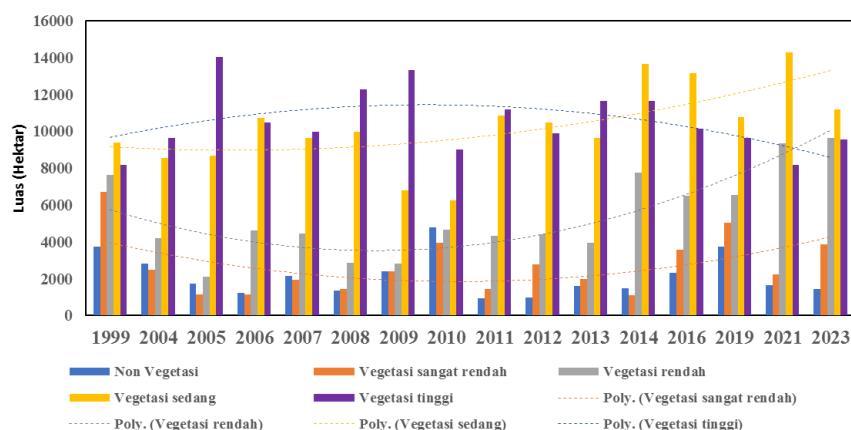
Sumber: Hasil Analisis Peta Penutupan Lahan, Skala 1: 125.000



Gambar 7. Peta penggunaan lahan DAS Sekampung Hulu

3.2 Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI)

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan. Nilai NDVI adalah suatu nilai untuk mengetahui tingkat kehijauan pada daun dengan panjang gelombang inframerah yang sangat baik sebagai awal dari pembagian daerah vegetasi. NDVI pada dasarnya menghitung seberapa besar penyerapan radiasi matahari oleh tanaman terutama bagian daun (Freddy dkk., 2015). Nilai NDVI mempunyai rentang antara -1 (minus) hingga 1 (positif). Nilai yang mewakili vegetasi berada pada rentang 0,1 hingga 0,7, jika nilai NDVI di atas nilai ini menunjukkan tingkat kesehatan dari tutupan vegetasi yang lebih baik. Sebaran Tingkat Kerapatan Vegetasi di DAS Sekampung Hulu disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8.

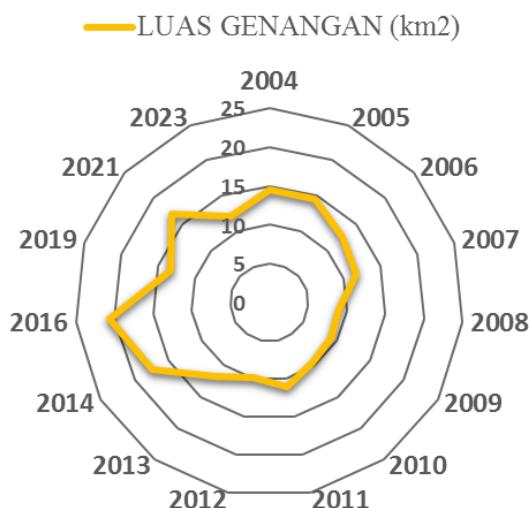


Gambar 8. Sebaran tingkat kerapatan vegetasi DAS Sekampung Hulu

Selama 2004-2010, luas lahan non-vegetasi dan vegetasi sangat rendah/rendah meningkat >100%, sedangkan vegetasi sedang/tinggi turun hingga 50%. 2010-2016, kualitas lahan meningkat dengan vegetasi rendah hingga tinggi, sementara non-vegetasi/vegetasi sangat rendah turun. Hal ini diduga karena program reboisasi pemerintah. Namun, 2016-2023, tekanan penduduk menyebabkan turunnya lahan non-vegetasi dan vegetasi sedang/tinggi serta naiknya vegetasi sangat rendah/rendah diduga akibat pembangunan dan pembalakan liar.

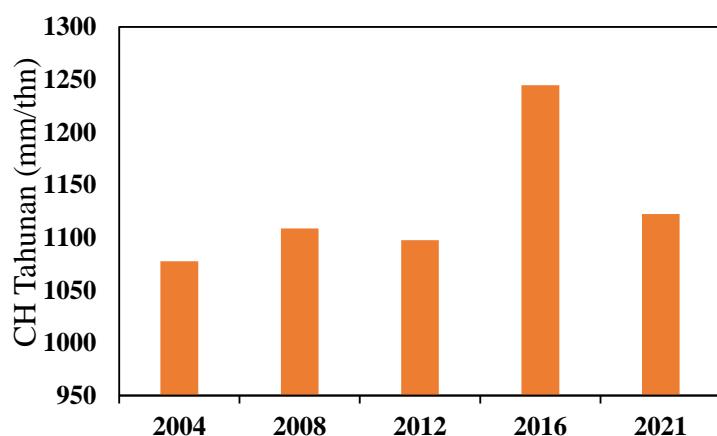
3.3 Tingkat Kebasahan (NDWI)

NDWI (*Normalized Difference Water Index*) adalah metode yang digunakan untuk membandingkan tingkat kebasahan pada citra satelit. Metode NDWI menggunakan band 3 (Green) digunakan untuk menilai kekuatan tanaman dan tubuh air dan band 5 (NIR) untuk menekankan kandungan biomassa. Luas Genangan Waduk Batutegi hasil analisis NDWI disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 9.



Gambar 9. Luas genangan Waduk Batutegi berdasarkan hasil analisis NDWI

Selama periode tahun 2004-2008, terjadi penurunan luas genangan waduk, yang kemudian relatif stabil selama periode 2008-2012. Periode 2012-2016 menunjukkan peningkatan luas genangan, yang kemudian menurun kembali setelahnya hingga tahun 2023. Perubahan ini diduga terkait dengan perubahan kondisi penutupan lahan dengan vegetasi berkerapatan tinggi. Faktor lain yang juga diduga memengaruhi perubahan luas genangan waduk adalah variasi dalam masukan hujan di wilayah tangkapan waduk (*catchment area*). Data jumlah curah hujan tahunan dari wilayah Indonesia, yang diperoleh melalui proses pengolahan data hujan bulanan dan metode interpolasi NIDW, menunjukkan variasi dalam hujan wilayah tahun 2016 (Gambar 10).



Gambar 10. Variasi curah hujan tahunan DAS Sekampung Hulu

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 waduk Batutegi dan

melalui pendekatan model matematika sebagaimana diungkapkan oleh Ridwan (2014). Hasil fitting nilai luas genangan ke dalam kurva karakteristik waduk Batutegi memberikan nilai prediksi volume simpanan waduk sesuai berdasarkan proyeksi titik luas genangan (Area) terhadap elevasi muka air (TMA) pada setiap tahun penilaian (Gambar 11). Hasil pendugaan volume simpanan waduk menggunakan kedua pendekatan tersebut disajikan pada Tabel 2. Adapun pendekatan model matematika untuk menduga volume simpanan waduk yaitu menggunakan persamaan matematis sebagai berikut

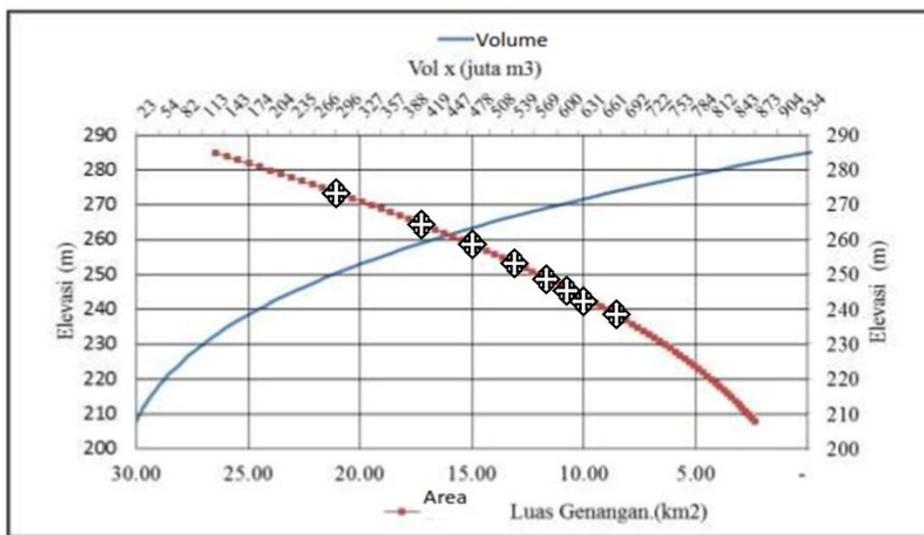
$$Vol = \frac{(TMA - 170)^{3,19}}{2,55 \times 10^4} + 4,6 \quad (3)$$

$$TMA = \frac{\{116 \times 10^6 + (LUAS \times 10^4)\}}{5 \times 10^5} \quad (4)$$

dimana Luas adalah luas NDWI (Hektar), TMA adalah tinggi/elevasi muka air waduk (m dpl), Vol adalah volume simpanan waduk (satuan: Juta m³).

Tabel 2. Prediksi tinggi muka air dan volume simpanan Waduk Batutegi

No.	Tahun	Luas NDWI (Ha)	Fitting Kurva		Model Matematis	
			TMA (m dpl)	Volume (x Juta m ³)	TMA (m dpl)	Volume (x Juta m ³)
1.	2004	1.453	260	478	261	458
2.	2005	1.453	260	478	261	458
3.	2006	1.266	253	330	257	401
4.	2007	1.175	250	296	255	376
5.	2008	905	240	174	250	306
6.	2009	922	240	174	250	310
7.	2010	955	243	214	251	318
8.	2011	1.113	246	245	254	359
9.	2012	994	243	204	252	328
10.	2013	1.178	250	296	256	377
11.	2014	1.734	263	468	267	554
12.	2016	2.060	274	661	273	681
13.	2019	1.339	253	340	259	423
14.	2021	1.690	264	478	266	538
15.	2023	1.215	250	296	256	387



Gambar 11. Fitting kurva luas (Area) NDWI terhadap TMA dan volume Waduk Batutegi

3.5 Analisis Hubungan NDVI, NDWI, dan Volume Simpanan Waduk

Analisis hubungan antara luas penutupan lahan dengan luas genangan waduk dilakukan dengan cara fitting nilai luas penutupan lahan untuk setiap klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi (NDVI) dengan luas genangan hasil analisis NDWI ke dalam kurva X – Y. Dikarenakan terdapat perbedaan nilai yang sangat kontras antara kedua variabel yang diperbandingkan, maka dalam analisis digunakan data konversi logaritmik untuk setiap variabel. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi antara NDVI dan NDWI ditunjukkan pada kondisi penutupan lahan dengan tingkat kerapatan sangat rendah (klas 1) sebesar 95,59% kemudian diikuti dengan tingkat kerapatan tinggi (klas 4) sebesar 94,80%, tingkat kerapatan rendah (klas 2) sebesar 92,31%, dan tingkat kerapatan sedang (klas 3) sebesar 87,58%. Model matematis hubungan antara NDVI untuk masing-masing kelas kerapatan dan NDWI disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Model Matematis Hubungan NDVI dan NDWI untuk setiap klasifikasi kerapatan vegetasi

No.	Kelas Kerapatan Vegetasi	Model Matematis	Nilai R^2
1.	Sangat Rendah	$Y = 1,6332 \ln(X) + 1,1346$	0,9559
2.	Rendah	$Y = 1,9817 \ln(X) + 0,5215$	0,9231
3.	Sedang	$Y = 3,928 \ln(X) - 2,3467$	0,8758
4.	Tinggi	$Y = 6,499 \ln(X) - 5,9504$	0,9480

Tabel 3 menunjukkan hubungan yang linier antara tingkat kerapatan vegetasi (NDVI) dengan luas genangan waduk (NDWI). Semakin luas penutupan lahan dengan tingkat kerapatan rendah berpengaruh positif terhadap meningkatnya luas genangan waduk Batutegi, dan sebaliknya semakin luas penutupan lahan dengan tingkat kerapatan tinggi berpengaruh positif terhadap penurunan luas permukaan waduk.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kerapatan vegetasi di catchment area waduk Batutegi dapat diklasifikasikan menjadi lima kelas, yaitu: non vegetasi, vegetasi sangat rendah, vegetasi rendah, vegetasi sedang, dan vegetasi tinggi.
2. Selama periode 2004-2023, kualitas penutupan lahan di catchment area waduk Batutegi mengalami dua kondisi masa, yaitu masa peningkatan kualitas melalui rehabilitasi lahan (2010-2016) dan masa penurunan atau kerusakan kembali kondisi catchment area (2016-2023), diduga karena tekanan dari penduduk.
3. Luas genangan waduk Batutegi dapat diduga melalui interpretasi citra Landsat 8 OLI dengan analisis NDWI menghasilkan tiga kelas kebasahan air, yaitu bukan air, kebasahan rendah, dan kebasahan tinggi (area air).
4. Jumlah simpanan waduk Batutegi dapat diestimasi dengan menginterpretasi citra Landsat 8 OLI melalui analisis NDWI dan fitting data luas genangan ke dalam kurva Area-Capacity-Volume Waduk Batutegi atau menggunakan formulasi matematis hubungan antara luas genangan, tinggi muka air, dan volume waduk.
5. Korelasi tertinggi antara NDVI dan NDWI terjadi pada kondisi penutupan lahan dengan tingkat kerapatan sangat rendah (klas 1) sebesar 95,59%, diikuti oleh tingkat kerapatan tinggi (klas 4) sebesar 94,80%, tingkat kerapatan rendah (klas 2) sebesar 92,31%, dan tingkat kerapatan sedang (klas 3) sebesar 87,58%. Luas penutupan lahan dengan vegetasi rapat dalam catchment area waduk Batutegi cenderung berkurang seiring dengan berjalannya waktu (periode tahun 2004-2023).

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah melakukan pemilihan citra Landsat 8 OLI dengan penutupan awan yang rendah untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih baik dalam memperkirakan tingkat kerapatan vegetasi (NDVI) dan tingkat kebasahan air (NDWI).

Daftar Pustaka

- Indrapraja Lulus, Eko Noerhayati, dan Azizah Rachmawati. 2015. Kajian Karakteristik Fisik & Hidrologi Daerah Aliran Sungai Konto Hulu Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol.8.No.4.
- Ridwan. 2014. Integrasi Pola Operasi Bendungan dan Bendung Berbeda Basis Waktu untuk Kebutuhan Irigasi. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ridwan., Sudira, P., Susanto, S.,Sutiarso, L. 2013. Manajemen sumberdaya air Daerah Aliran Sungai Sekampung di antara Bendungan Batutegi dan Bendungan Argoguruh, Provinsi Lampung: kerangka analitis penyusunan pola operasional waduk harian. *Jurnal Agritech*. 33(2): 226-233.
- U.S. Geological Survey. 2019. *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Sioux Falls