



Monitoring Luasan Embung Menggunakan Google Earth Engine (GEE)

Studi Kasus di Kecamatan Rote Barat Daya NTT

Haryono Putro^{1*}, Ade Suhendar Sutisna²

¹Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Gunadarma, Jakarta,

²Teknik Sipil, Universitas Nusa Megarkencana, Yogyakarta

*)Email corresponding author: haryonoputro@staff.gunadarma.ac.id

Received: 22 April 2026 Revised: 19 Juli 2026 Accepted: 23 Juli 2026

Abstract

This study aims to monitor the surface area of 13 small reservoirs in the Southwest Rote District, East Nusa Tenggara (NTT), using the Google Earth Engine (GEE) platform over a five-year period (2019–2024). The methodology involved the collection and processing of landsat satellite imagery, the integration of rainfall and rainy-day data from CHIRPS, and an analysis of changes in reservoir surface area over time. The study leveraged GEE's cloud computing capabilities to efficiently process large-scale data. The results demonstrate that GEE is effective for mapping and monitoring changes in reservoir surface area, evidenced by a model accuracy (R^2) of 0.8178 and a positive correlation (r) of 0.668 when compared against manual delineation measurements. Changes in reservoir surface area were analyzed to identify trends and patterns associated with factors such as rainfall, irrigation demands, and human activity. These findings provide crucial information for sustainable water resource management, particularly in the context of arid regions like NTT. The analysis also contributes to the understanding of hydrological dynamics in the area and establishes a foundation for improved decision-making regarding reservoir management. This study highlights the potential of GEE as a powerful tool for monitoring water resources in hard-to-reach areas and contributes to the development of remote sensing-based monitoring methodologies.

Keywords: Google earth engine (GEE), CHIRPS, reservoir, remote sensing, area monitoring, Southwest Rote

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memantau luasan 13 embung di Kecamatan Rote Barat Daya, Nusa Tenggara Timur (NTT) menggunakan platform Google Earth Engine (GEE) selama periode 5 tahun (2019-2024). Metode yang digunakan meliputi pengumpulan dan pengolahan data citra satelit landsat, penerapan data hujan dan hari hujan dari CHIRPS, serta analisis perubahan luasan embung dari waktu ke waktu. Penelitian ini memanfaatkan kemampuan komputasi awan GEE untuk mengolah data dalam skala besar secara efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GEE efektif dalam memetakan dan memantau perubahan luasan embung, dibuktikan dengan tingkat akurasi model (R^2) sebesar 0,8178 dan nilai korelasi positif (r) sebesar 0,668 jika dibandingkan dengan pengukuran delineasi manual. Perubahan luasan embung dianalisis untuk mengidentifikasi tren dan pola yang terkait dengan faktor-faktor seperti curah hujan, kebutuhan irigasi, dan aktivitas manusia. Temuan ini memberikan informasi penting untuk pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, khususnya dalam konteks daerah kering seperti NTT. Analisis ini juga memberikan kontribusi pada pemahaman dinamika hidrologi di wilayah tersebut, serta memberikan dasar untuk pengambilan keputusan yang lebih baik terkait pengelolaan embung. Penelitian ini menyoroti potensi GEE sebagai alat yang ampuh untuk pemantauan sumber daya air di daerah yang sulit dijangkau, serta memberikan kontribusi pada pengembangan metodologi pemantauan berbasis penginderaan jauh.

Kata kunci: Google earth engine (GEE), CHIRPS, embung, penginderaan jauh, pemantauan luasan, Rote Barat Daya

Pendahuluan

Kecamatan Rote Barat Daya, yang terletak di Kabupaten Rote Ndao, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), merupakan wilayah yang rentan terhadap kekeringan dan kekurangan air. Ketersediaan air yang terbatas menjadi tantangan utama dalam pembangunan dan kesejahteraan masyarakat. Embung, sebagai waduk skala kecil, memegang peranan krusial dalam menyediakan air untuk irigasi, kebutuhan rumah tangga, dan ternak (Prianto *et al.*, 2018). Namun, pengelolaan embung yang efektif memerlukan pemantauan yang akurat terhadap luasan dan volume air yang tersimpan. Pemantauan konvensional seringkali mahal, memakan waktu, dan sulit dilakukan secara berkala, terutama di daerah terpencil.

Monitoring di lapangan langsung sulit dilakukan dan juga diperlukan biaya yang cukup besar. Dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh yang semakin maju dan kemudahan akses data estimasi serta minimnya potensi dan pemanfaatan teknologi di Indonesia, sehingga perlu dan pentingnya pemanfaatan penginderaan jauh untuk *monitoring* kinerja (luasan tampungan basah embung).

Penginderaan jauh (*remote sensing*) menawarkan solusi yang efisien dan efektif untuk memantau luasan embung secara berkala. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data dari jarak jauh menggunakan sensor yang dipasang pada satelit atau pesawat terbang (Pipitone *et al.*, 2018; Andiko *et al.*, 2019). Dengan perkembangan teknologi komputasi awan, seperti *Google Earth Engine* (GEE), pengolahan data penginderaan jauh menjadi lebih mudah diakses dan terjangkau (Condeça *et al.*, 2022; Latifa *et al.*, 2018). GEE menyediakan akses ke data citra satelit dalam jumlah besar dan menyediakan *platform* untuk menganalisis data tersebut secara efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk memantau luasan embung menggunakan GEE. Penelitian ini fokus pada: (1) mengidentifikasi dan mengklasifikasi embung-embung yang ada di wilayah studi. (2) menerapkan metode pengolahan citra satelit untuk menghitung luasan embung. (3) menganalisis perubahan luasan embung dari waktu ke waktu. (4) mendapatkan gambaran hubungan curah hujan, hari hujan dengan luasan embung serta (5) memberikan informasi yang bermanfaat bagi pengelolaan sumber daya air dan pengambilan keputusan yang lebih baik terkait embung di Kecamatan Rote Barat Daya.

Penginderaan jauh telah menjadi alat yang sangat berharga dalam pemantauan sumber daya air.

Berbagai penelitian telah berhasil memanfaatkan citra satelit untuk mengukur dan memantau parameter-parameter penting seperti luas permukaan air, tinggi muka air, dan volume air dalam waduk dan danau (Masoud, 2025; Valadao *et al.*, 2021; Bonnema & Hossain, 2019; Busker *et al.*, 2019; Ling *et al.*, 2020; Quang *et al.*, 2021). Citra satelit MODIS, Landsat, Sentinel, dan bahkan data altimetri satelit telah digunakan dalam berbagai studi untuk tujuan ini (Khandelwal *et al.*, 2017; Pipitone *et al.*, 2018; Deng *et al.*, 2020).

Beberapa penelitian telah mengembangkan metode untuk mengestimasi volume air waduk berdasarkan data penginderaan jauh. Metode ini seringkali melibatkan penggunaan indeks air, seperti *Normalized Difference Water Index* (NDWI) atau *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasi area berair (Condeça *et al.*, 2022; Xu, 2006). Informasi luas permukaan air kemudian dapat dikorelasikan dengan data elevasi untuk mengestimasi volume air (Bonnema & Hossain, 2019).

GEE adalah *platform* komputasi awan yang menyediakan akses ke data citra satelit dalam jumlah besar dan sebagai alat untuk analisis data yang canggih. GEE telah menjadi alat yang populer dalam berbagai aplikasi penginderaan jauh, termasuk pemantauan sumber daya air, perubahan tutupan lahan, dan analisis lingkungan (Condeça *et al.*, 2022; Busker *et al.*, 2019; Trimulyono & Krismono, 2021).

Keunggulan GEE terletak pada kemampuannya untuk memproses data dalam skala besar secara efisien, menghemat waktu dan sumber daya yang diperlukan untuk analisis data (Condeça *et al.*, 2022). Beberapa penelitian telah berhasil memanfaatkan GEE untuk memantau perubahan luasan dan volume air waduk dan danau (Condeça *et al.*, 2022; Busker *et al.*, 2019). GEE menyediakan akses ke citra satelit Landsat dan Sentinel, yang memungkinkan pemantauan berkala terhadap perubahan permukaan air. Selain itu, GEE menyediakan berbagai alat dan fungsi untuk pengolahan citra, klasifikasi, dan analisis data, yang memudahkan peneliti untuk melakukan analisis yang kompleks.

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) memiliki iklim yang kering dengan curah hujan yang rendah dan distribusi yang tidak merata. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan air yang terbatas, terutama pada musim kemarau. Embung, sebagai waduk skala kecil, memainkan peran penting dalam menyediakan air baku antara lain untuk irigasi, kebutuhan rumah tangga, dan ternak (Eko Prianto *et*

al., 2018). Embung berfungsi untuk menampung air hujan selama musim hujan dan melepaskannya secara bertahap selama musim kemarau. Selain faktor hujan, luasan dan daya tampung embung dipengaruhi faktor teknis, topografi maupun lingkungan seperti bentuk permukaan tanah, luasan daerah tangkapan air, sedimentasi, teknis desain dan dimensi, kondisi hidrogeografi, kebocoran dan kebutuhan air (Dewi & Wahidin, 2020).

Pengelolaan embung yang efektif sangat penting untuk memastikan ketersediaan air yang berkelanjutan di NTT. Pemantauan yang akurat terhadap luasan dan volume air embung sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang efisien. Informasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan air, mengidentifikasi potensi kekeringan, dan merencanakan tindakan mitigasi yang tepat. Selain fungsi teknis, embung juga memiliki fungsi sosial ekonomi. Wirawan dan Raharjo (2019) menunjukkan bahwa embung desa di Kampung Tanjung Anom dikembangkan menjadi objek wisata yang dikelola oleh BUMK

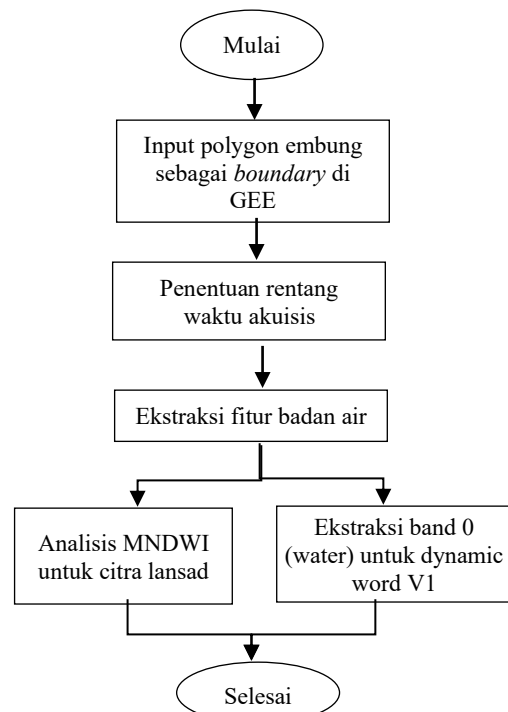
Metode

Lokasi penelitian adalah Kecamatan Rote Barat Daya, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pentingnya embung dalam menunjang kebutuhan air masyarakat dan potensi kekeringan yang tinggi. Periode waktu penelitian mencakup rentang lima tahun (2019-2024) untuk menganalisis perubahan luasan embung dari waktu ke waktu. Periode waktu yang tepat akan ditentukan berdasarkan ketersediaan data citra satelit yang berkualitas.

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit Landsat. Citra Landsat dipilih karena menyediakan data dengan resolusi spasial yang cukup untuk memetakan embung skala kecil dan memiliki rentang waktu yang panjang yang memungkinkan analisis perubahan dari waktu ke waktu (Pipitone *et al.*, 2018; Jatayu & Susetyo, 2018). Citra Landsat yang digunakan meliputi citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS, yang tersedia secara gratis melalui GEE.

Ghosh *et al.* (2022) menunjukkan bahwa GEE mampu menangani data berskala besar untuk pemetaan banjir. Proses yang biasanya memakan waktu berhari-hari dapat diselesaikan dalam hitungan menit. GEE juga menyediakan berbagai fungsi analisis, seperti filter awan, komposit temporal, perhitungan indeks, dan klasifikasi. Peneliti dapat menulis kode dalam bahasa JavaScript atau Python melalui API. Karena sifatnya yang terbuka, GEE banyak digunakan oleh

peneliti di seluruh dunia. Data pendukung yang digunakan meliputi: data batas administrasi Kecamatan Rote Barat Daya, data curah hujan beserta jumlah hari hujan CHIRPS (*Climate Hazard Group Infrared Precipitation with Station*) serta dataset tutupan lahan *Dynamic World* (DW) yang diakses melalui GEE untuk mengekstrak informasi kelas air (*Water DW*). Analisis badan air dari citra landsat *Dynamic Word V1* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir analisis badan air dari Citra Landsat dan Dynalic Word V1

Beberapa penelitian mengenai data CHIRPS dibandingkan dengan data hujan observasi diantaranya Alejo *et al.*, 2021; Jatmiko *et al.*, 2025 dan Wahyuni *et al.*, 2021.

Identifikasi embung dilakukan menggunakan pendekatan gabungan antara indeks air dan dataset tutupan lahan berbasis komputasi awan. Pertama, nilai *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) dihitung dari citra Landsat untuk menonjolkan fitur air dengan menekan pantulan dari fitur vegetasi dan tanah. Formula perhitungan MNDWI yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Persamaan 1. Dimana Green adalah nilai reflektan pada pita spektral hijau, dan SWIR adalah nilai reflektan pada pita Short-Wave Infrared

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)} \quad (1)$$

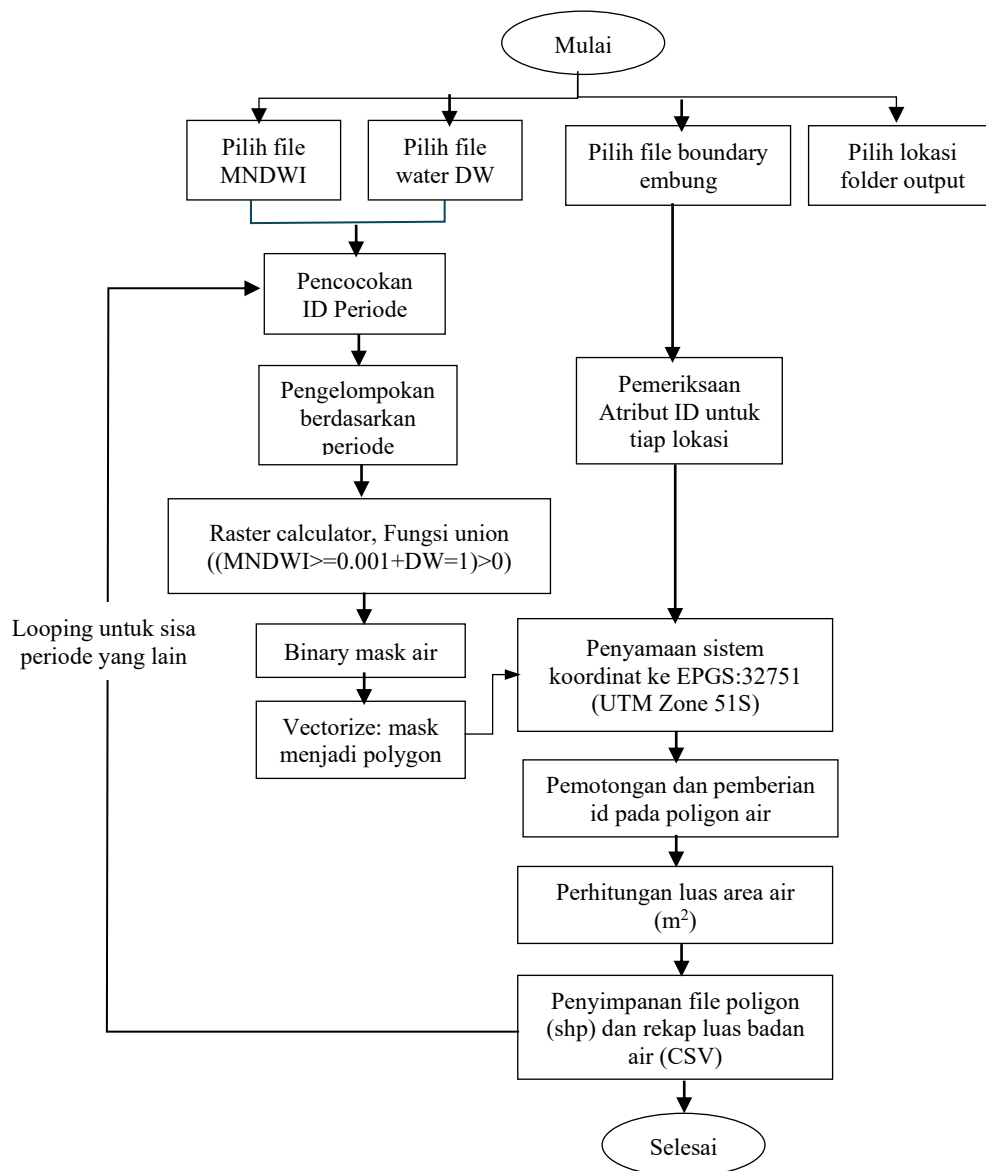
Selain menggunakan indeks MNDWI, penelitian ini juga memanfaatkan kelas tutupan lahan air (*water*) dari data set *Dynamic World* (DW). Untuk

meningkatkan akurasi deteksi embung dan meminimalkan kesalahan klasifikasi yang sering terjadi akibat bayangan topografi atau tutupan awan tipis, dilakukan proses komposit (penggabungan) spasial antara hasil deteksi MNDWI dan kelas Water DW. Piksel yang teridentifikasi sebagai air dari kedua metode ini diiriskan (intersect) untuk menghasilkan area batas genangan embung yang lebih solid dan akurat. Rincian alur kerja dari proses komposit ini dapat dilihat pada Gambar 2.

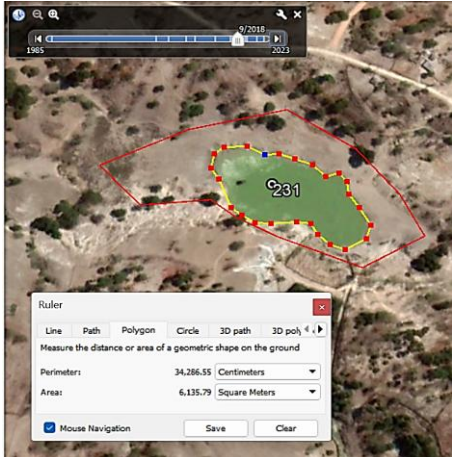
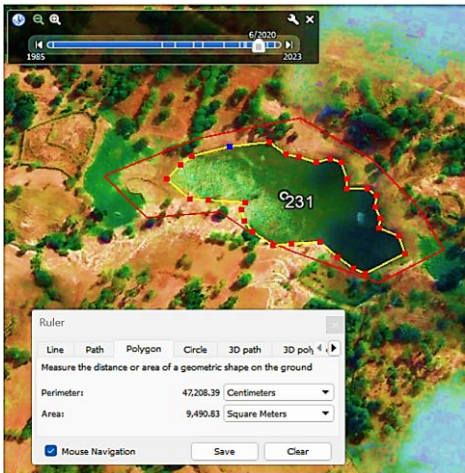
Hasil dan Pembahasan

Proses identifikasi dan klasifikasi embung menggunakan citra Landsat dan GEE berhasil dilakukan. Beberapa embung di Kecamatan Rote Barat Daya NTT berhasil diidentifikasi dan diklasifikasikan berdasarkan karakteristik spektral

dan spasialnya. Penggunaan indeks air MNDWI (Xu, 2006) terbukti efektif dalam memisahkan area berair (embung) dari area lainnya. Citra satelit landsat dengan resolusi spasial 30 meter cukup memadai untuk mengidentifikasi embung-embung yang ada. Hasil klasifikasi menghasilkan peta sebaran embung di Kecamatan Rote Barat Daya. Peta ini memberikan informasi visual tentang lokasi dan luasan embung. Informasi ini sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Namun, akurasi klasifikasi perlu divalidasi dengan data ground truth atau citra resolusi tinggi. Luasan embung dihitung untuk setiap citra Landsat yang digunakan dalam penelitian ini. Sedangkan GEE digunakan untuk menghitung luas area yang sudah diklasifikasikan sebagai embung. Hasil perhitungan luasan embung disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Perubahan luasan embung dari waktu ke waktu dapat dilihat dengan jelas.



Gambar 2. Bagan alir komposit MNDWI dan Water DW

09 2018 			04 2020 		
Luas komposit	0	m ²	Luas komposit	3.684,92	m ²
Luas manual	6.135,79	m ²	Luas manual	11.925,14	m ²
06 2020 			04 2022 		
Luas komposit	11.950,69	m ²	Luas komposit	10.146,40	m ²
Luas manual	9.490,83	m ²	Luas manual	22.259,31	m ²
07 2023 					
Luas komposit	9.584,30	m ²			
Luas manual	16.564,75	m ²			

Gambar 3. Luasan embung ID231 komposit dan manual

Pendekatan ini sejalan dengan Zhou *et al.* (2019) yang mengembangkan model berbasis GEE dengan menggunakan data in situ untuk validasi. Contoh embung ID231 disajikan pada Gambar 3, luasan

GEE (luas komposit-garis merah pada gambar) dan deliniasi secara manual dengan google earth (garis kuning pada gambar).

Pada Gambar 3 sebagai contoh 04 2000 merupakan periode waktu bulan ke-4, sedang pada Tabel 1, bulan 4 merupakan periode ke-2 tahun 2000. Luas komposit merupakan luasan dari pendekatan GEE sedang luas manual merupakan luasan deliniasi visual google earth. Data luasan dalam tabel selanjutnya merupakan data GEE, dimana jika luas

manual berbeda cukup besar maka dipakai luasan manual. Namun jika luasan mendekati maka data luasan merupakan data luas GEE (luas komposit). Pada ID231 bulan 6-2020 data luas pada Tabel 1 sebagai 2020_3 (tahun 2020 periode 3) dengan luas 11.950,69 m²

Tabel 1. Hasil perhitungan luasan embung (m²)

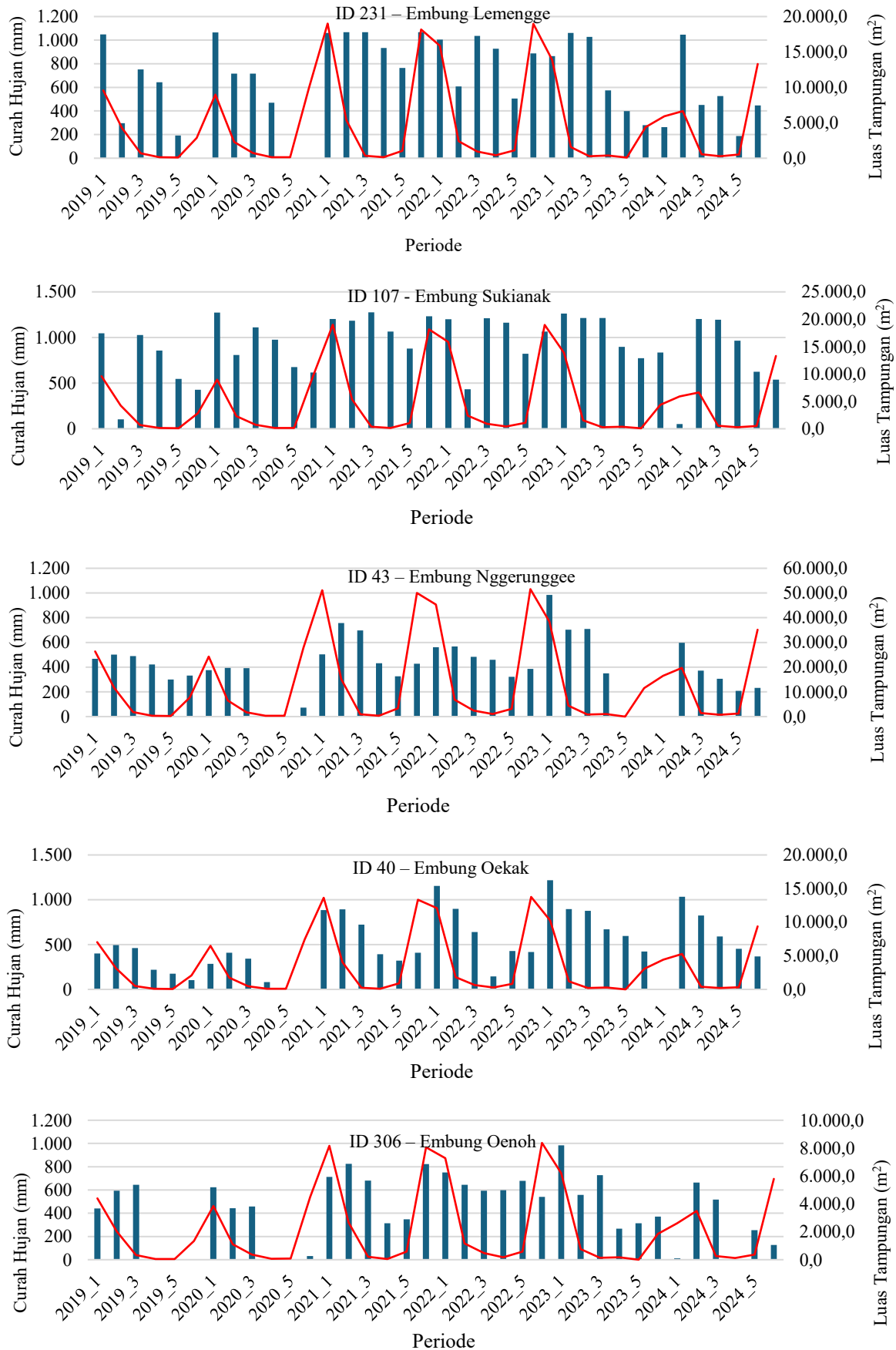
No	Klaster jarak	ID	2019_1	2019_2	2019_3	2019_4	2019_5	2019_6
1	39	231	17.470,5	4.957,1	12.522,5	10.715,9	3.218,4	0,0
2	39	107	17.446,1	1.731,4	17.109,2	14.291,0	9.129,8	7.119,4
3	5	43	23.414,4	25.062,8	24.477,7	21.064,5	15.018,2	16.578,5
4	5	40	5.352,9	6.577,0	6.143,1	2.925,0	2.340,4	1.365,3
5	4	306	3.675,9	4.948,8	5.371,3	0,0	0,0	0,0
6	4	38	2.158,2	2.163,1	2.831,7	1.945,5	1.364,0	1.614,9
7	4	302	0,0	2.555,5	2.870,7	0,0	0,0	97,5
8	4	34	4.070,5	6.281,7	5.710,0	3.869,0	97,5	975,1
9	4	23	11.888,0	6.441,1	780,1	0,0	0,0	0,0
10	4	28	1.950,3	4.535,1	3.005,4	2.322,8	1.852,8	2.225,2
11	9	50	9.211,7	7.873,3	3.121,0	0,0	0,0	0,0
12	10	222	5.613,6	2.817,5	3.457,1	4.071,8	1.267,9	1.755,6
13	48	97	707,7	346,3	57,2	0,0	0,0	0,0
No	Klaster jarak	ID	2020_1	2020_2	2020_3	2020_4	2020_5	2020_6
1	39	231	17.765,6	11.925,1	11.950,7	7.824,9	0,0	0,0
2	39	107	21.228,7	13.484,6	18.503,6	16.266,4	11.259,0	10.280,2
3	5	43	18.819,2	19.699,2	19.601,6	0,0	0,0	3.608,3
4	5	40	3.803,2	5.432,7	4.572,2	1.072,7	0,0	0,0
5	4	306	5.195,6	3.690,4	3.820,9	0,0	0,0	262,7
6	4	38	1.461,5	2.084,4	2.340,0	0,0	0,0	0,0
7	4	302	1.537,5	0,0	1.862,3	0,0	0,0	829,5
8	4	34	3.615,9	3.889,2	3.088,9	292,5	0,0	0,0
9	4	23	5.663,0	6.607,7	1.363,9	0,0	0,0	7.210,1
10	4	28	2.958,9	2.145,4	1.072,7	0,0	0,0	5.726,4
11	9	50	10.109,5	7.113,6	5.071,6	1.950,6	0,0	9.287,5
12	10	222	4.005,9	4.625,5	4.416,3	2.834,1	1.560,5	3.092,9
13	48	97	1.392,1	207,8	0,0	0,0	0,0	0,0
No	Klaster jarak	ID	2022_1	2022_2	2022_3	2022_4	2022_5	2022_6
1	39	231	17.700,2	17.783,2	17.783,2	15.556,5	12.758,1	17.783,2
2	39	107	20.054,9	19.744,7	21.280,1	17.733,5	14.662,0	20.562,2
3	5	43	25.160,3	37.849,6	34.870,8	21.552,1	16.285,9	21.405,4
4	5	40	11.813,7	11.894,3	9.643,7	5.237,6	4.279,7	5.449,9
5	4	306	5.941,9	6.871,3	5.676,9	2.610,4	2.903,0	6.852,5
6	4	38	2.658,7	3.424,2	1.417,4	1.968,1	1.530,4	3.251,2
7	4	302	1.728,9	1.985,9	1.192,2	0,0	0,0	1.641,1
8	4	34	7.970,9	7.068,7	6.288,6	1.635,3	195,0	1.850,5
9	4	23	9.678,1	10.140,6	6.364,1	7.949,4	6.201,4	7.638,6
10	4	28	4.464,4	5.431,4	8.367,5	1.755,3	877,7	3.329,0
11	9	50	7.530,9	7.255,0	7.006,4	5.146,1	1.365,4	10.127,9
12	10	222	3.822,3	5.009,5	4.563,6	3.478,3	975,3	5.634,7
13	48	97	1.260,2	768,7	759,2	0,0	0,0	1.392,1

Tabel 1 (lanjutan). Hasil perhitungan luasan embung (m²)

No	Klaster jarak	ID	2022_1	2022_2	2022_3	2022_4	2022_5	2022_6
1	39	231	16.743,8	10.146,4	17.265,5	15.475,1	8.434,2	14.793,4
2	39	107	19.991,8	7.216,9	20.167,4	19.368,9	13.720,6	17.732,0
3	5	43	28.091,3	28.378,5	24.185,1	22.962,9	16.090,9	19.309,1
4	5	40	15.402,9	11.994,1	8.521,0	1.939,2	5.725,2	5.573,3
5	4	306	6.259,7	5.377,7	4.943,7	4.987,6	5.661,0	4.513,0
6	4	38	3.026,9	2.277,7	1.716,5	2.658,9	2.472,8	1.148,2
7	4	302	682,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	4	34	3.608,0	5.546,2	5.216,0	2.250,7	1.830,3	4.103,5
9	4	23	9.232,4	6.929,6	8.570,8	9.606,4	8.428,7	7.730,2
10	4	28	6.290,0	2.909,9	1.542,8	2.666,3	1.462,8	2.506,2
11	9	50	10.127,9	3.113,9	6.934,9	6.374,5	5.919,0	6.285,4
12	10	222	5.634,7	1.497,0	4.901,4	3.992,6	1.692,1	2.868,3
13	48	97	958,2	0,0	777,3	985,6	874,9	0,0
No	Klaster jarak	ID	2023_1	2023_2	2023_3	2023_4	2023_5	2023_6
1	39	231	14.413,2	17.691,8	17.130,4	9.584,3	6.632,0	4.681,4
2	39	107	21.030,4	20.219,8	20.228,5	14.964,8	12.873,0	13.920,0
3	5	43	49.194,8	35.184,3	35.497,5	17.456,2	0,0	0,0
4	5	40	16.245,3	11.958,5	11.704,1	8.926,2	7.935,8	5.644,9
5	4	306	8.209,0	4.638,2	6.066,0	2.220,4	2.610,4	3.098,0
6	4	38	3.424,2	2.277,7	2.104,9	1.530,4	3.256,4	0,0
7	4	302	2.957,3	1.625,6	0,0	0,0	0,0	0,0
8	4	34	10.225,2	7.520,1	4.952,2	1.342,7	0,0	0,0
9	4	23	15.856,9	10.716,5	9.846,1	6.701,3	1.851,5	3.675,8
10	4	28	8.367,5	5.884,1	3.683,0	2.985,4	1.755,3	2.517,8
11	9	50	10.127,9	5.632,9	6.381,5	3.023,5	0,0	0,0
12	10	222	5.634,7	4.591,9	4.469,8	3.681,6	3.147,2	3.249,1
13	48	97	789,8	486,0	786,5	0,0	0,0	0,0
No	Klaster Jarak	ID	2024_1	2024_2	2024_3	2024_4	2024_5	2024_6
1	39	231	4.388,8	17.454,9	7.530,1	8.772,0	3.120,9	7.434,0
2	39	107	877,7	20.056,5	19.903,3	16.095,8	10.435,3	8.972,4
3	5	43	0,0	29.841,3	18.626,4	15.310,7	10.434,7	11.604,9
4	5	40	97,5	13.785,4	10.988,5	7.855,3	6.035,0	4.890,7
5	4	306	97,5	5.533,2	4.317,9	0,0	2.122,8	1.051,2
6	4	38	0,0	2.104,9	967,2	487,6	1.530,4	487,5
7	4	302	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	4	34	0,0	7.227,1	3.763,2	0,0	0,0	0,0
9	4	23	0,0	8.301,6	7.843,6	5.820,4	0,0	0,0
10	4	28	2.712,8	4.684,4	2.324,8	0,0	0,0	97,5
11	9	50	0,0	3.504,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	10	222	21,7	4.381,9	4.173,9	1.457,6	2.259,9	1.594,6
13	48	97	0,0	159,2	790,6	0,0	0,0	0,0

Data tersebut menunjukkan hasil perhitungan luasan embung untuk beberapa embung yang terpilih, data dalam dua bulanan sehingga dalam satu tahun ada enam periode data. Analisis perubahan luasan embung menunjukkan variasi yang signifikan dari waktu ke waktu. Perubahan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan, hari hujan dan kemungkinan memanfaatkan air kebutuhan irigasi, dan aktivitas manusia. Pada

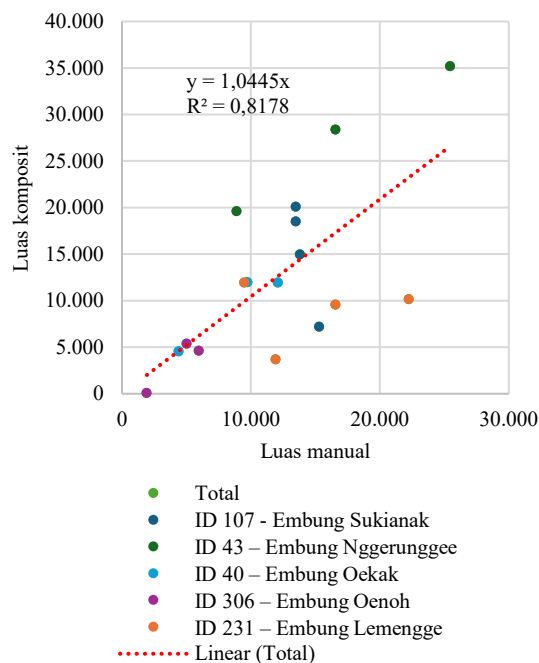
periode musim hujan, luasan embung cenderung meningkat, sementara pada periode musim kemarau, luasan embung cenderung menurun. Pola perubahan ini konsisten dengan harapan. Gambar 4 merupakan grafik perubahan luasan embung dari waktu ke waktu. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa beberapa embung mengalami penurunan luasan yang signifikan selama periode penelitian.



Gambar 4. Grafik perubahan luasan embung terhadap curah hujan

Penurunan ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kurangnya curah hujan, penggunaan air yang berlebihan untuk irigasi, dan kebocoran pada struktur embung. Validasi hasil dilakukan dengan membandingkan hasil pemetaan luasan embung dengan data ground truth atau citra resolusi tinggi. Namun, ketersediaan data *ground truth* sangat terbatas. Oleh karena itu, validasi dilakukan secara visual dengan menggunakan citra resolusi tinggi dari Google Earth. Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil pemetaan luasan embung memiliki akurasi yang cukup baik, dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah.

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 5, terlihat adanya perbedaan luasan yang cukup signifikan antara hasil GEE (komposit) dan pengukuran delineasi manual menggunakan citra resolusi tinggi dari Google Earth. Perbedaan ini merupakan fenomena yang wajar dalam aplikasi penginderaan jauh untuk badan air skala kecil. Citra landsat yang digunakan memiliki resolusi spasial 30 meter, sehingga sangat rentan terhadap efek piksel campuran (*mixed pixel*) pada zona batas antara daratan dan tepian air.



Gambar 5. Perbandingan luas komposit GEE dengan luas manual

Menurut Marín-Comitre *et al.* (2021), meskipun teknik penginderaan jauh satelit terbukti berguna untuk mendeteksi keberadaan embung, pendekatan ini seringkali tidak memberikan akurasi spasial yang memadai untuk analisis topografi dan batimetri pada badan air yang luas permukaannya kurang dari 1 hektar (10.000 m²). Sebagian besar embung di wilayah studi memiliki luasan di kisaran

tersebut, sehingga delineasi visual secara manual memberikan batas yang lebih presisi dibandingkan ekstraksi otomatis berbasis piksel satelit menengah.

Dalam konteks manajemen sumber daya air, informasi luasan permukaan merupakan parameter dasar untuk mengetahui kapasitas ketersediaan air sebenarnya, yaitu volume tampungan. Pengukuran volume secara langsung ke lapangan (*bathymetric survey*) umumnya memakan biaya yang mahal, padat karya, dan membutuhkan waktu yang lama, terutama jika diterapkan pada banyak embung di wilayah yang luas.

Untuk menjembatani keterbatasan data kedalaman tersebut, penelitian hidrologi modern menggunakan pendekatan model empiris geometris, yaitu Hubungan Volume-Area (V-A). Marín-Comitre *et al.* (2021) merumuskan persamaan tergeneralisasi untuk embung-embung skala kecil di daerah beriklim kering, di mana estimasi volume maksimum (V_{max} dalam m³) dapat dihitung langsung dari luasan maksimum permukaan embung (A_{max} dalam m²) menggunakan fungsi berpangkat (*power function*) dalam Persamaan 2.

$$V = 2.453 \times A^{0.913} \quad (2)$$

Melalui pendekatan rumus tersebut, data dinamika luasan permukaan embung yang dihasilkan dari ekstraksi Google Earth Engine dapat dikonversi menjadi estimasi volume tampungan. Sebagai contoh, pada Embung Sukianak (ID 107) dengan luas ukur manual sebesar 13.484,63 m² pada periode 2020_2, volume tampungan airnya dapat diestimasi mencapai kurang lebih 14.462 m³. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan ketersediaan air yang lebih komprehensif bagi para pemangku kepentingan tanpa harus melakukan pengukuran kedalaman langsung di lapangan.

Analisis hubungan antara perubahan luasan embung dan curah hujan menunjukkan adanya korelasi positif. Semakin tinggi curah hujan, semakin besar luasan embung. Sebaliknya, semakin rendah curah hujan, semakin kecil luasan embung. Korelasi ini menunjukkan bahwa curah hujan adalah faktor utama yang mempengaruhi perubahan luasan embung di Kecamatan Rote Barat Daya.

Selain curah hujan, faktor lain seperti kebutuhan irigasi dan aktivitas manusia juga dapat mempengaruhi perubahan luasan embung. Penggunaan air yang berlebihan untuk irigasi dapat menyebabkan penurunan luasan embung, terutama pada musim kemarau. Aktivitas manusia, seperti pembangunan dan perubahan tata guna lahan, juga dapat mempengaruhi kapasitas dan fungsi embung (Rahardjo *et al.*, 2019).

Tabel 2: Perbandingan luasan embung (m²) komposit vs manual

Periode	Komposit GEE	Manual (Google Earth)	Lokasi
2020_2	20.114,73	13.484,63	ID 107 - Embung Sukianak
2020_3	18.503,59	13.484,63	ID 107 - Embung Sukianak
2022_2	7.216,94	1.5309,7	ID 107 - Embung Sukianak
2023_4	14.964,78	13.813,55	ID 107 - Embung Sukianak
2020_2	3.684,92	11.925,14	ID 231 – Embung Lemengge
2020_3	11.950,69	9.490,83	ID 231 – Embung Lemengge
2022_2	10.146,4	22.259,31	ID 231 – Embung Lemengge
2023_4	9.584,3	16.564,75	ID 231 – Embung Lemengge
2020_3	19.601,63	8.891,77	ID 43 – Embung Nggerunggee
2022_2	28.378,48	16.581,44	ID 43 – Embung Nggerunggee
2023_2	35.184,29	25.464,23	ID 43 – Embung Nggerunggee
2020_3	4.572,22	4.406,85	ID 40 – Embung Oekak
2022_2	11.994,13	9.731,51	ID 40 – Embung Oekak
2023_2	11.958,49	12.101,78	ID 40 – Embung Oekak
2020_3	97,52	1.927,98	ID 306 – Embung Oenoh
2022_2	5.377,72	5.018,93	ID 306 – Embung Oenoh
2023_2	4.638,22	5.958,95	ID 306 – Embung Oenoh

Penelitian ini memberikan informasi penting untuk pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan di Kecamatan Rote Barat Daya. Hasil penelitian dapat digunakan untuk memantau ketersediaan air di embung secara berkala, mengidentifikasi embung yang mengalami penurunan luasan yang signifikan, merencanakan dan mengelola penggunaan air yang efisien, mengembangkan strategi mitigasi kekeringan dan mendukung pengambilan keputusan terkait pengelolaan embung.

Dalam penelitian ini juga menyoroti potensi GEE sebagai alat yang ampuh untuk pemantauan sumber daya air di daerah yang sulit dijangkau. GEE memungkinkan pemantauan yang efisien dan efektif terhadap perubahan luasan embung, yang sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang telah berhasil menggunakan penginderaan jauh untuk memantau luasan dan volume air waduk dan danau (Khandelwal *et al.*, 2017; Bonnema & Hossain, 2019; Condeça *et al.*, 2022). Penggunaan GEE dalam penelitian ini juga sejalan dengan tren penggunaan teknologi komputasi awan dalam penginderaan jauh (Busker *et al.*, 2019). Namun, penelitian ini memiliki fokus yang lebih spesifik pada embung skala kecil di daerah kering, yang membedakannya dari penelitian sebelumnya.

Selain itu, juga memberikan kontribusi baru dalam konteks pengelolaan sumber daya air di daerah kering seperti NTT. Pemantauan luasan embung menggunakan GEE memungkinkan pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif dan berkelanjutan. Temuan ini dapat digunakan untuk mengembangkan strategi pengelolaan embung yang lebih baik, termasuk optimasi penggunaan air,

perbaikan infrastruktur, dan upaya konservasi air. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan metodologi pemantauan sumber daya air berbasis penginderaan jauh yang dapat diterapkan di daerah lain yang memiliki karakteristik serupa.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memantau luasan embung di Kecamatan Rote Barat Daya, NTT, menggunakan Google Earth Engine (GEE). Metode yang digunakan, yang meliputi pengumpulan dan pengolahan data citra satelit Landsat, penerapan indeks air, dan analisis perubahan luasan embung, terbukti efektif. GEE menyediakan platform yang efisien untuk memproses data citra satelit dalam skala besar dan menghasilkan informasi yang bermanfaat untuk pengelolaan sumber daya air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luasan embung di Kecamatan Rote Barat Daya mengalami variasi dari waktu ke waktu, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan, kebutuhan irigasi, dan aktivitas manusia. Analisis perubahan luasan embung memberikan informasi penting untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Diperlukan strategi yang berfokus pada pemanfaatan air yang optimal melalui penerapan sistem irigasi efisien dan metode penyimpanan yang meminimalkan kehilangan air. Selain itu, pada periode curah hujan rendah strategi teknis seperti menjaga kualitas air, konservasi *catchment area* dan rekayasa untuk memperpanjang ketersediaan air menjadi krusial.

Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan GEE dalam pemantauan luasan embung merupakan pendekatan yang efektif dan

efisien. Metode ini dapat diterapkan untuk memantau perubahan luasan embung secara berkala, memberikan informasi penting untuk pengelolaan sumber daya air, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik terkait embung di Kecamatan Rote Barat Daya.

Daftar Pustaka

Alejo, L. A., & Alejandro, A. S. (2021). Validating CHIRPS ability to estimate rainfall amount and detect rainfall occurrences in the Philippines. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 967-977.

<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03685-y>

Andiko, J. A., Duryat, & Darmawan, A. (2019). Efisiensi Penggunaan Citra Multisensor untuk Pemetaan Tutupan Lahan (The Efficiency of Multisensor Images for Land Cover Mapping). *Jurnal Sylva Lestari*, 7(3), 342-349.

<https://doi.org/10.23960/jsl37342-349>

Bonnema, M., & Hossain, F. (2019). Assessing the Potential of the Surface Water and Ocean Topography Mission for Reservoir Monitoring in the Mekong River Basin. *Water Resources Research*, 55(12), 10565-10582.

<https://doi.org/10.1029/2018wr023743>

Busker, T., de Roo, A., Gelati, E., Schwatke, C., Adamovic, M., Bisselink, B., Pekel, J.-F., & Cottam, A. (2019). A global lake and reservoir volume analysis using a surface water dataset and satellite altimetry. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2), 669-690.

<https://doi.org/10.5194/hess-23-669-2019>

Condeça, J., Nascimento, J., & Barreiras, N. (2022). Monitoring the Storage Volume of Water Reservoirs Using Google Earth Engine. *Water Resources Research*, 58(5), e2021WR030026.

<https://doi.org/10.1029/2021wr030026>

Deng, X., Song, C., Liu, K., Ke, L., Zhang, W., Ma, R., Zhu, J., & Wu, Q. (2020). Remote sensing estimation of catchment-scale reservoir water impoundment in the upper Yellow River and implications for river discharge alteration. *Journal of Hydrology*, 590, 124791.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124791>

Dewi, R. & Wahidin (2020). Embung Sebagai Alternatif Cadangan Air Pada Sawah Tadah Hujan (Study Kasus Kecamatan Kroya Kabupaten Indramayu). *Jurnal Rekayasa, Teknologi dan Sains*, 4(1), 1-6.

<https://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/article/view/2401>

Prianto, E., Umar, C., Kartamihardja, E. S., & Husnah, H. (2017). Pengelolaan dan pemanfaatan perairan embung dan bendung di provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 9(2), 105-114.

<https://doi.org/10.15578/jkpi.9.2.2017.105-114>

Ghosh, S., Kumar, D., & Kumari, R. (2022). Cloud-based large-scale data retrieval, mapping, and analysis for land monitoring applications with Google Earth Engine (GEE). *Environmental Challenges*, 9, 100605.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100605>

Jatayu, A., & Susetyo, C. (2018). Analisis Perubahan Temperatur Permukaan Wilayah Surabaya Timur Tahun 2001-2016 Menggunakan Citra LANDSAT. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F163-F168.

<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24504>

Jatmiko, R., H., & Ismail, P. (2025). Kalibrasi Estimasi Curah Hujan CHIRPS dengan Data Observasi di Semarang. *Buletin GAW Bariri (BGD)*, 6(2), 97-107.

<https://doi.org/10.31172/bgb.v6i2.147>

Khandelwal, A., Karpatne, A., Marlier, M. E., Kim, J.-Y., Lettenmaier, D. P., & Kumar, V. (2017). An approach for global monitoring of surface water extent variations in reservoirs using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 198, 290-303.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.039>

Latifah, N., Febrianto, S., Endrawati, H., & Zainuri, M. (2018). Pemetaan Klasifikasi Dan Analisa Perubahan Ekosistem Mangrove Menggunakan Citra Satelit Multi Temporal di Karimunjawa, Jepara, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2), 118-129.

<https://doi.org/10.14710/jkt.v21i2.2977>

Ling, F., Li, X., Foody, G. M., Boyd, D. S., Ge, Y., Li, X., & Du, Y. (2020). Monitoring surface water area variations of reservoirs using daily MODIS images by exploring sub-pixel information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 1-13.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.008>

Marín-Comitre, U., Gómez-Gutiérrez, Á., Lavado-Contador, F., Sánchez-Fernández, M., & Alfonso-Torreño, A. (2021). Using Geomatic Techniques to Estimate Volume–Area Relationships of Watering Ponds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 502.

<https://doi.org/10.3390/ijgi10080502>

- Masoud, Alaa A. (2025). GEE-Hydromonitor: A Google Earth Engine software for multi-sensor hydrometric monitoring of surface water reservoir. *Environmental Modelling and Software*, 195 (2026), 106761.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106761>
- Rahardjo, P., Junaidi, J., & Prasetyo, T. (2019). Interaksi Alih Fungsi Lahan Terhadap Banjir Dan Kekeringan. *Bangun Rekaprima*, 5(2), 33-41.
<http://dx.doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v5i2.1573>
- Pipitone, C., Maltese, A., Dardanelli, G., Lo Brutto, M., & La Loggia, G. (2018). Monitoring Water Surface and Level of a Reservoir Using Different Remote Sensing Approaches and Comparison with Dam Displacements Evaluated via GNSS. *Remote Sensing*, 10(1), 71.
<https://doi.org/10.3390/rs10010071>
- Quang, D. N., Linh, N. K., Tam, H. S., & Viet, N. T. (2021). Remote sensing applications for reservoir water level monitoring, sustainable water surface management, and environmental risks in Quang Nam province, Vietnam. *Journal of Water and Climate Change*, 12(7), 2977-2993.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2021.347>
- Triwijoyo, A. A., & Krismono, B. (2021). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Jaringan Irigasi dan Embung di Lombok Tengah. *Matrik Jurnal Manajemen Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 20(2), 263-272.
<https://doi.org/10.30812/matrik.v20i2.1112>
- Valadao, Larissa V., Cicerelli, Rejane E., Almeida, T., Curto Ma, Julia B., Garnier, J. (2021). Reservoir metrics estimated by remote sensors based on the Google Earth Engine platform. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24 (2021) 100652.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100652>
- Wahyuni, S., Sisinggih, D. & Dws, IAG. (2021). Validating of Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) data in Wonorejo Reservoir Indonesia. *Earth and Environmental Science* 930-012042.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012042>
- Wirawan, A., & Raharjo, T. (2019). Pengelolaan embung desa menuju desa wisata melalui BUMK Tanjung Anom. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2).
<https://doi.org/10.31849/dinamisia.v2i2.2304>
- Zhou, B., Okin, G. S., & Zhang, J. (2019). Leveraging Google Earth Engine (GEE) and machine learning algorithms to incorporate in situ measurement from different times for rangelands monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111521.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111521>