

## ANALISIS MUKA AIR TANAH MENGGUNAKAN DRONE PADA TIMBUNAN LAMA PT. BUKIT ASAM TBK., MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN

A. Maharani<sup>1</sup>, B. Setiawan<sup>1\*</sup>, R. Pebrianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang

<sup>1</sup>Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang

<sup>1</sup>Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

\*Corresponding author e-mail: budhi.setiawan@unsri.ac.id

**ABSTRAK:** Air tanah merupakan salah satu sumberdaya yang memiliki peran penting bagi lingkungan dan masyarakat, pemantauan kondisi muka air tanah pada timbunan lama tambang umumnya sangat diperlukan sebagai aspek pendukung untuk memastikan kondisi stabilitas timbunan serta mencegah adanya kerusakan lingkungan. Penelitian ini memanfaatkan teknologi drone multispektral dengan data penginderaan jarak jauh sebagai salah satu aspek pendukung dalam memperkirakan kondisi muka air tanah pada area penelitian yang kemudian membahas tahapan mulai dari pengambilan, pengolahan data, analisis statistik, hingga interpretasi hasil. Analisis indeks vegetasi pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa daerah tersebut didominasi oleh indeks vegetasi sedang hingga tinggi mengindikasikan potensi kondisi air tanah yang baik, klasifikasi kejenuhan air tanah didominasi kategori agak jenuh cukup jenuh dan tidak ditemukan area dengan kondisi kering, dengan adanya dukungan teknologi drone ini terbukti mampu dalam melakukan survey kondisi tutupan lahan pada area yang sulit dijangkau dengan lebih efisien. Pengolahan data drone dengan menggunakan band reflektansi yang menghasilkan dua indeks vegetasi yaitu Indeks *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI) hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi kelembaban pada area penelitian cenderung agak jenuh (53,85%).

Kata Kunci: Muka Air Tanah, Drone, Indeks Vegetasi

**ABSTRACT:** Groundwater is an essential resource for both the environment and society. Monitoring groundwater levels in old mine dumps is generally necessary as a supporting factor to ensure the stability of the dumps and prevent environmental damage. This study utilizes multispectral drone technology with remote sensing data as one of the supporting aspects in estimating groundwater conditions in the study area, which then discusses the stages from data collection, processing, statistical analysis, to interpretation of results. Analysis of the vegetation index at the research site shows that the area is dominated by a moderate to high vegetation index, indicating the potential for good groundwater conditions. The classification of groundwater saturation is dominated by the moderately saturated and sufficiently saturated categories, and no areas with dry conditions were found. With the support of drone technology, it has been proven to be capable of surveying land cover conditions in areas that are difficult to reach more efficiently. Drone data processing using reflectance bands produced two vegetation indices, namely the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) and *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI). Study results indicate that the moisture conditions in the study area tended to be moderately saturated (53.85%).

Keywords: Water table, Drone, Vegetation Index

### 1 Pendahuluan

Air tanah merupakan bagian penting dari siklus hidrologi yang merupakan suatu proses alami berkelanjutan untuk memastikan ketersediaan air, salah satu sumber daya vital yang memiliki peran penting bagi lingkungan dan masyarakat[1]. Pada kawasan timbunan

lama tambang batubara kondisi hidrogeologi umumnya sering mengalami perubahan kondisi air tanah akibat aktivitas pertambangan terutama kelembaban tanah dan muka air tanah yang mana hal ini dapat mempengaruhi kondisi hidrogeologi jangka panjang, kondisi air tanah pada timbunan bekas tambang dapat berpengaruh terhadap stabilitas lereng [2]. Kondisi air tanah

merupakan salah satu faktor penting dalam lingkungan pasca tambang yang dapat menyebabkan perubahan kondisi lingkungan bekas tambang, khususnya pada daerah tropis yang memiliki curah hujan tinggi seperti di Indonesia [3]. Kondisi air tanah yang jenuh pada timbunan lama tambang akan menambahkan beban lereng sehingga lereng akan lebih mudah mengalami longsor. [4] Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, berdasarkan [5] penelitian dengan menggunakan drone multispektral yang menunjukkan bahwa data drone tersebut dapat digunakan untuk melakukan estimasi kelembaban tanah pada lahan pertanian, namun penelitian serupa pada daerah tambang masih sangat terbatas. Pada area pertambangan umumnya seiring dengan habisnya cadangan lapisan batubara atas, sebagian besar tambang akan melanjutkan proses penambangan pada lapisan batubara bawah sehingga lantai lapisan batubara akan diisi oleh aliran air tanah [6]. Penelitian ini mencoba untuk melakukan analisis dengan metode berbasis hasil pengolahan data drone multispektral untuk memperkirakan muka air tanah pada timbunan lama tambang pada Kabupaten Muara Enim Sumatera Selatan.

Penelitian dilakukan pada kawasan timbunan lama PT. Bukit Asam Tbk., Muara Enim, Sumatera Selatan. Dengan menggunakan data multispektral dari pengolahan hasil drone yang digunakan yaitu Dji Mavic 3, drone merupakan pesawat udara tanpa awak yang efektif dalam pemantauan kesehatan tanaman [7]. Teknologi drone saat ini sering digunakan untuk meningkatkan efisiensi, mengoptimalkan biaya dan memastikan keselamatan. Drone ini memiliki beberapa sensor untuk mendukung hal tersebut seperti sensor kamera RGB, kamera multispektral, deteksi cahaya, *real time kinematic* dan *obstacle detection* [8]. Penelitian ini juga menggunakan data *borehole* yang didapat pada lokasi penelitian. Dengan memanfaatkan indeks vegetasi seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI) untuk mendeteksi kondisi tutupan lahan dan kondisi muka air tanah yang didukung oleh berbagai data terkait. Tujuan adanya penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi kondisi dan distribusi tutupan vegetasi pada area timbunan lama, menentukan status kejenuhan air tanah di lokasi penelitian, menganalisis hubungan dan sensitivitas antara indeks vegetasi dan kelembaban tanah dengan memanfaatkan data dari drone yang kemudian diakurasi dengan data *borehole*. Diharapkan hasil

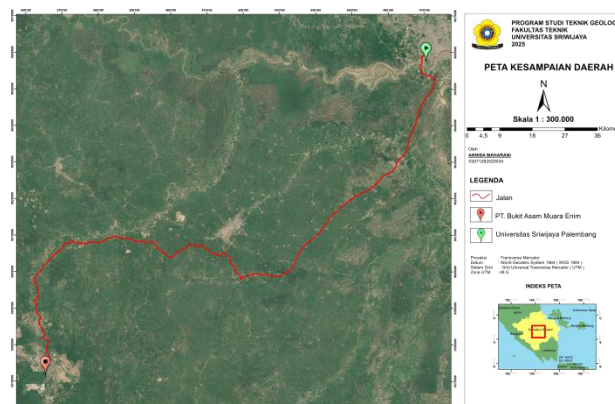
penelitian ini dapat memberikan kontribusi lebih lanjut dan membantu dalam pengembangan pemantauan agar lebih efisien pada area timbunan lama tambang.

## 2 Metode Penelitian

Pada metode penelitian ini menjelaskan tahapan yang dilakukan dalam penelitian analisis muka air tanah menggunakan teknologi drone pada timbunan lama tambang, yang mana dimulai dengan dilakukannya studi pustaka dan literatur, survei, pengolahan data, hingga menentukan kategori rasio kelembaban tanah pada lokasi penelitian.

### 2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada kawasan timbunan lama tambang Air Laya PT. Bukit Asam Tbk., Kabupaten Muara Enim Sumatera Selatan. Secara geografis terletak pada koordinat UTM 368400 9585000 hingga 370200 9582300 4°25'29.06"S 104°8'35.56"E dengan luas area penelitian sekitar 7.52 km<sup>2</sup>. lokasi penelitian terletak sejauh 201 km dari Universitas Sriwijaya Palembang dan dapat ditempuh dengan jalur darat dengan waktu yang ditempuh selama 3 jam 43 menit.



Gambar 1. Ketersampaian daerah penelitian

### 2.2 Data yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis berbagai data seperti data citra multispektral yang didapatkan dari akuisisi drone Dji Mavic 3 dengan sensor multispektral terdiri dari beberapa piksel yang sensitif terhadap panjang gelombang berbeda, dan data *borehole* pada lokasi penelitian. Data pada drone DJI Mavic 3 Multispektral terdapat beberapa band data berupa reflektansi *Red* (R), *Green* (G), *Near Infrared* (NIR), dan

*Red Edge* (RE)[9]. Nilai NDVI kemudian dihitung dari perbandingan antara reflektansi band NIR dan Red, sedangkan OSAVI merupakan modifikasi dari NDVI dengan penyesuaian tambahan untuk mengurangi pengaruh tanah dalam perhitungan. Indeks ini kemudian digunakan untuk menunjukkan kondisi vegetasi pada permukaan timbunan[10].

Pada data *borehole* yang diperoleh terdapat informasi koordinat, litologi, parameter geoteknik serta kedalaman. Parameter yang digunakan antara lain berat isi kering ( $\gamma_{dry}$ ), berat isi basah ( $\gamma_{wet}$ ), kohesi ( $c$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ), data kedalaman muka air tanah yang tercatat digunakan sebagai variabel utama dalam melakukan analisis ini, kemudian dilakukan perbandingan kondisi fisik timbunan dengan hasil interpretasi dari pengolahan hasil citra drone.

### 2.3 Pengolahan Data

Untuk melakukan pengolahan data citra multispektral yang didapatkan kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak Dji Terra yang menghasilkan peta mosaik kemudian dilakukan perhitungan Indeks Vegetasi dengan menggunakan rumus memperhitungkan nilai band RED, GREEN, NIR sehingga menghasilkan indeks NDVI, dan OSAVI. Kemudian di ekstrak dengan titik lokasi *borehole* yang terletak pada batasan lokasi penelitian menggunakan perangkat lunak QGIS dengan fitur *Plugin Point Sampling Tool* sehingga menghasilkan tabel data nilai indeks vegetasi yang didapatkan dengan menyesuaikan titik *borehole* sesuai koordinat batasan lokasi penelitian pada lapisan multispectral dengan format tiff (NDVI dan OSAVI). Hasil ekstrak nilai indeks vegetasi kemudian dilakukan perbandingan dengan data muka air tanah hasil perhitungan dari pengukuran *bore*, dimana data berat isi kering ( $\gamma_{dry}$ ) dan berat isi basah ( $\gamma_{wet}$ ) digunakan untuk mengetahui kejenuhan timbunan dan dihasilkan tabel yang berisi pasangan data antara nilai indeks vegetasi dan data rasio rata-rata  $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$  muka air tanah pada titik koordinat yang termasuk di batasan area penelitian. Nilai rasio tersebut didapat dari hasil pembagian antara nilai parameter saat kondisi basah terhadap nilai parameter saat kondisi kering, yang mana dari nilai rasio ini lah yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini untuk membedakan kondisi air tanah dan menunjukkan area yang dipengaruhi muka air tanah pada lokasi penelitian.

Table 1. Kategori Kondisi Air Tanah berdasarkan Rasio  $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$

ID	NDVI	OSAVI	Rasio	Kondisi Air Tanah
SP 26	0.4714	0.0100	1,17	Agak Jenuh
MHY 16	0.0560	0.0064	1,26	Cukup Jenuh
MHY 21	0.1069	0.0046	1,19	Agak Jenuh
ALB 360	0.0559	0.0008	1,56	Cukup Jenuh
MHY 28	0.3888	0.0250	1,19	Agak Jenuh
MHY 26	0.1385	0.0099	1,29	Cukup Jenuh
MHY 07	0.3800	0.0227	1,2	Agak Jenuh
MHY 08	0.6335	0.0263	1,16	Agak Jenuh
MHY 09	0.6516	0.0282	1,14	Agak Jenuh
MHY 10	0.2950	0.0202	1,18	Agak Jenuh
MHY 11	0.7865	0.0418	1,42	Cukup Jenuh
MHY 12	0.7468	0.0948	1,25	Cukup Jenuh
SP 25	0.7030	0.0564	1,34	Cukup Jenuh

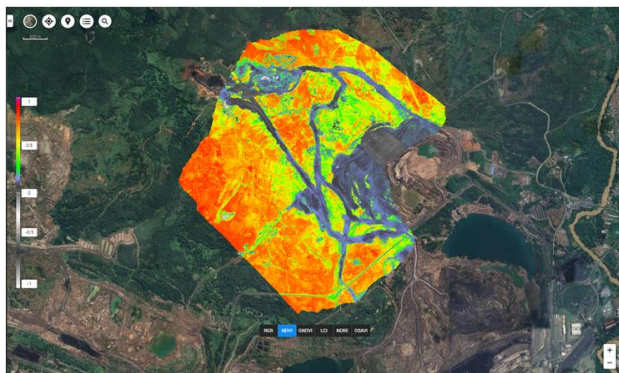
## 3 Hasil dan Pembahasan

Bab ini menampilkan hasil yang didapat dari pengolahan data dan citra drone serta menunjukkan analisis hubungan antara indeks vegetasi dengan kondisi muka air tanah yang mencakup interpretasi hasil pengamatan pada lokasi penelitian.

### 3.1 Indeks Vegetasi

Pada hasil citra multispektral dilakukan perhitungan indeks vegetasi yang menghasilkan gambaran kondisi NDVI dan OSAVI, kemudian dilakukan pengolahan pada perangkat lunak QGIS untuk menunjukkan variasi nilai pada area timbunan. Didapatkan nilai NDVI berkisar antara 0.0559 pada area titik bor ALB 360 hingga 0.7865 pada area titik bor dengan kode MHY 11, sedangkan nilai OSAVI antara 0.0008 pada titik bor ALB 360 hingga 0.0948 pada titik bor dengan kode MHY 12. Variasi nilai ini menggambarkan kondisi tutupan vegetasi pada tutupan timbunan yang bersifat heterogen yang mana pada Gambar 2 beberapa area sebaran NDVI menunjukkan kawasan yang mengindikasikan vegetasi rapat (merah) sedangkan pada beberapa area lain terdapat permukaan dengan vegetasi jarang atau permukaan tanah terbuka (abu-abu). Pada sebaran OSAVI yang ditampilkan Gambar 3 menunjukkan pola distribusi yang relatif stabil karena indeks OSAVI dapat mengoreksi pengaruh latar belakang tanah sehingga distribusi indeks tersebut bisa

digambarkan dengan baik walaupun memiliki nilai yang lebih rendah.

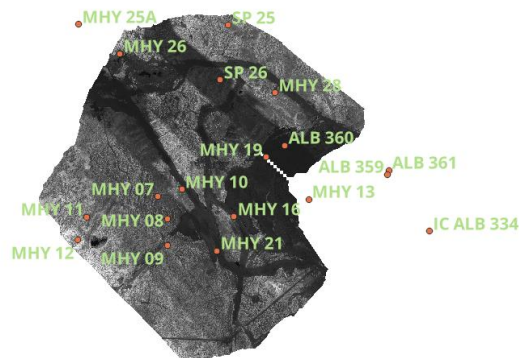


Gambar 2. Tampilan hasil analisis drone multispektral berupa sebaran indeks NDVI pada Area Penelitian.



Gambar 3. Tampilan hasil analisis drone multispektral berupa sebaran indeks OSAVI pada Area Penelitian.

Pada Gambar 4 berikut menampilkan sebaran titik bor yang digunakan dalam lingkup daerah penelitian ini, dimana terdapat 13 titik bor yaitu SP 26, MHY 16, MHY 21, ALB 30, MHY 28, MHY 26, MHY 07, MHY 08, MHY 09, MHY 10, MHY 11, MHY 12, dan SP 25 serta didominasi oleh litologi seperti batulempung, batulanau, batubara, batupasir, overburden enim, dan timbunan. Setiap titik tersebut menampilkan titik lokasi pengambilan data yang berperan dalam penelitian ini sehingga dapat mendukung analisis kondisi muka air tanah serta memberikan informasi karakteristik litologi dan kelembaban tanah di area timbunan lama pada daerah penelitian.



Gambar 4. Tampilan titik bor yang terdapat pada area penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data drone kemudian dilakukan analisis terhadap kondisi vegetasi permukaan dengan melihat indeks vegetasi NDVI dan OSAVI yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Statistik Indeks Vegetasi NDVI dan OSAVI pada Daerah Penelitian.

Indeks	Min	Maks	Mean	Std. Deviasi
NDVI	0,056	0,787	0,41649	0,27135
OSAVI	0,001	0,095	0,02675	0,02573

Hasil analisis indeks vegetasi NDVI pada nilai minimum dan maksimum menunjukkan pada lokasi penelitian terdapat area dengan vegetasi yang sangat tipis bahkan hampir tidak memiliki vegetasi hingga area dengan vegetasi yang berlimpah, didapatkan nilai rata-rata NDVI yaitu 0,41649 secara umum menunjukkan kerapatan vegetasi kategori sedang dimana terdapat beberapa area yang cukup lebat sedangkan beberapa area kurang vegetasi, dengan standar deviasi senilai 0,27135 mengindikasikan kondisi vegetasi yang heterogen atau cukup bervariasi pada area penelitian ini, dilihat dari nilai tersebut daerah penelitian menunjukkan rentang tutupan vegetasi yang cukup lebar yaitu terdapat area yang sangat hijau lebat dan juga terdapat area yang kurang vegetasi atau minim tutupan. Sedangkan hasil analisis OSAVI dengan nilai minimum 0,00088 maksimum 0,09484 menunjukkan bahwa indeks vegetasi OSAVI lebih sensitif untuk area dengan vegetasi tipis dan area yang masih terpengaruh oleh tanah terbuka, nilai rata-rata senilai 0,02675 dan standar deviasi 0,02573 yang menandakan sebagian besar area pada lokasi penelitian memiliki vegetasi tipis hingga sedang dengan sebaran yang relatif seragam. Tingkat variasi berdasarkan indeks ini lebih



kecil dibandingkan NDVI sehingga permukaan lahan pada area penelitian secara umum seragam menurut indeks OSAVI di mana indeks vegetasi ini bekerja lebih efektif pada permukaan tanah yang belum sepenuhnya hijau.

Perbedaan tingkat variasi antara kedua indeks vegetasi ini menunjukkan bahwa NDVI lebih sensitif dalam menangkap perubahan keragaman tutupan vegetasi pada timbunan lama, sedangkan OSAVI memberikan gambaran kondisi yang relatif homogen. Ini merupakan data penting sebagai dasar dalam menganalisis antara kondisi vegetasi dengan kondisi muka air tanah pada area timbunan lama tambang.

### 3.2 Hubungan Indeks Vegetasi dengan Kondisi Muka Air Tanah

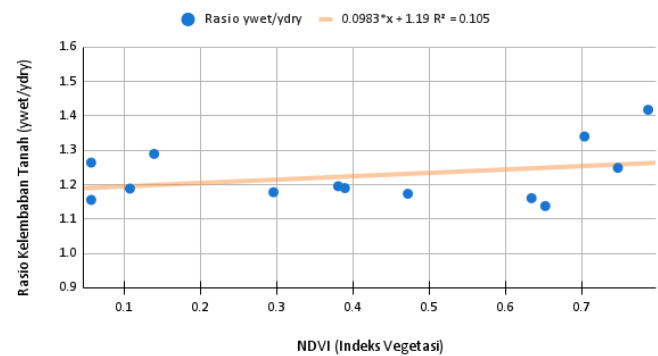
Penggunaan rasio  $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$  sebagai indikator tingkat kejenuhan material pada timbunan yang mana terdapat 13 titik bor pada batasan area penelitian, berdasarkan Tabel 3. hasil analisis rasio tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar titik bor berada pada kategori agak jenuh (53,85%) dan cukup jenuh (46,15%), hal ini menunjukkan kondisi muka air tanah di area penelitian umumnya cukup tinggi, yang ditunjukkan oleh kelembaban tanah di sebagian besar titik bor. Tingginya muka air tanah tersebut berpotensi mendukung pertumbuhan vegetasi yang lebih baik serta mempengaruhi proses hidrologi di kawasan timbunan lama tambang tersebut.

Tabel 3. Klasifikasi kejenuhan air tanah berdasarkan rasio  $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$ .

Kategori	Kriteria rasio	Jumlah titik	Persentase (%)
Relatif kering	1,00-1,10	0	0%
Agak jenuh	1,10 - 1,20	7	53.85 %
Cukup jenuh	> 1,20	6	46.15%

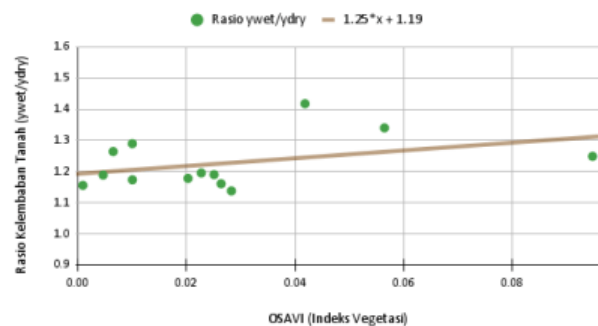
Hasil analisis pada Tabel 3 menunjukkan kondisi agak jenuh hingga cukup jenuh dengan dominasi rasio >1,1 data ini sejalan dengan hasil *scatter plot* pada Gambar 5 dan 6 yang menunjukkan adanya hubungan antara indeks vegetasi dengan rasio kelembaban tanah. Menunjukkan peran tutupan vegetasi dalam menjaga kelembaban muka air tanah di timbunan bekas tambang hal ini dilihat dari semakin tingginya nilai indeks vegetasi dimana umumnya rasio kelembaban di titik tersebut juga meningkat.

Korelasi NDVI dengan Rasio ( $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$ )



Gambar 5. *Scatter plot* nilai NDVI dan Rasio

Korelasi OSAVI dengan Rasio ( $\gamma_{wet}/\gamma_{dry}$ )



Gambar 6. *Scatter plot* nilai OSAVI dan Rasio

Tabel berikut menunjukkan hasil regresi linier antara indeks vegetasi dan rasio kelembaban tanah di lokasi penelitian.

Tabel 4. Hasil Regresi Linier antara Indeks Vegetasi dan Rasio Kelembaban Tanah

Indeks Veg.	Persamaan regresi	R <sup>2</sup>	Slope (a)	Intersep (b)
-------------	-------------------	----------------	-----------	--------------

NDVI	$y = 0.0983x + 1.19$	0.105	0.00983	1.19
OSAVI	$y = 1.25x + 1.19$	0.152	1.25	1.19

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai *slope* dan  $R^2$  pada indeks vegetasi OSAVI lebih tinggi dibandingkan pada NDVI, hal ini menunjukkan bahwa indeks vegetasi OSAVI memiliki hubungan yang lebih kuat dengan rasio kelembaban tanah, sehingga perubahan nilai OSAVI lebih berpengaruh terhadap kondisi kelembaban tanah pada area timbunan. Sedangkan korelasi NDVI dengan rasio kelembaban relatif lemah yang dapat disebabkan oleh tingkat vegetasi yang heterogen pada lokasi penelitian.

#### 4 Kesimpulan

Variasi nilai NDVI dan OSAVI menggambarkan kondisi tutupan vegetasi pada area timbunan bersifat heterogen serta terdapat 13 titik bor yang mendukung data dan didapatkan kondisi air tanah berdasarkan rasio *ywet/ydry* pada lokasi penelitian cenderung agak jenuh dengan persentase sebesar 53,85% data ini sebagai indikasi bahwa muka air tanah pada lokasi penelitian cenderung berada pada kondisi jenuh, keberadaan muka air tanah yang relatif tinggi dapat mendukung proses pertumbuhan vegetasi pada lokasi penelitian. Analisis statistik indeks vegetasi menunjukkan bahwa NDVI lebih sensitif dalam menangkap perubahan keragaman tutupan vegetasi pada timbunan lama, sedangkan OSAVI memberikan gambaran kondisi yang relatif homogen. Serta indeks vegetasi OSAVI memiliki hubungan yang lebih kuat dengan rasio kelembaban tanah, sedangkan korelasi indeks NDVI dengan rasio kelembaban yang relatif lemah dapat disebabkan oleh tingkat vegetasi yang heterogen pada lokasi penelitian.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pak Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing, Pak Rosihan, Arnesta serta PT. Bukit Asam dan seluruh pihak yang terkait dalam menyediakan akses lapangan serta pengambilan data. Publikasi artikel ini didanai oleh Penelitian Disertasi Doktor dengan Surat Keputusan Nomor 0667/E5/AL.04/2024 dan Perjanjian/Kontrak Nomor 0016.004/UN9/SB1.LP2M.PT/2024.

#### Daftar Pustaka

- [1] H. Avanzi, "Hydrological Cycle: An Overview of Water Dynamics on Earth," *J. Geol. & Geophysics*, vol. 13, no. 1, p. 1197, 2024, doi: 10.35248/2381-8719.24.13.1197.
- [2] R. Sharma, R. Rai, and B. K. Shrivastva, "Dump Slope Rating for Indian Coal Mining," vol. 1, no. 1, pp. 12–26, 2017.
- [3] B. A. P. Pamekas *et al.*, "Ketercapaian Reklamasi Pasca Pambang Terbuka," *J. Pengabdi. Pada Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 35–43, 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal.unikarta.ac.id/index.php/nrem/article/view/1172>
- [4] M. Vickyla, R. I. Sophian, and D. Muslim, "Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng," *Padjadjaran Geosci. J.*, vol. 3, no. 3, pp. 191–198, 2019, [Online]. Available: <http://www.ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/kommit/article/download/1058/920>
- [5] T. Qu *et al.*, "Drone-Based Multispectral Remote Sensing Inversion for Typical Crop Soil Moisture under Dry Farming Conditions," *Agric.*, vol. 14, no. 3, 2024, doi: 10.3390/agriculture14030484.
- [6] W. rui Zhang *et al.*, "Forecasting groundwater level of karst aquifer in a large mining area using partial mutual information and NARX hybrid model," *Environ. Res.*, vol. 213, no. May, p. 113747, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.113747.
- [7] A. Nina, "Efektifitas Drone Sebagai Media Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Kesehatan Tanaman," *J. Technopreneur*, vol. 11, no. 2, pp. 50–55, 2023, doi: 10.30869/jtech.v11i2.1186.
- [8] K. O. Said *et al.*, "On the application of drones: a progress report in mining operations," *Int. J. Mining, Reclam. Environ.*, vol. 35, no. 4, pp. 235–267, 2021, doi: 10.1080/17480930.2020.1804653.
- [9] K. S. Hardjo and E. T. Susila, "A Comparative Analysis of RG-NIR and Multispectral Camera Imagery Acquired via Unmanned Aerial Vehicles for Sugarcane Crop Detection," vol. 13, no. 1, pp. 113–126, 2025, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.23960/jpg>
- [10] Y. Firmansyah and N. P. Utama, "Shallot Growth Stage Monitoring with Multispectral Imagery using MobileNetV2," vol. 22, no. July, pp. 20–27, 2025.