

Pengamatan Singkat Hilangnya Kelembaban Tanah Menggunakan UAV Pada Proses Suksesi Lahan di Tanah Terbuka

Mochamad Firman Ghazali^{1), 2), 3)}, I Wayan Indra Saputra¹⁾, Ahmad Zainudin⁴⁾,
Ketut Wikantika^{2), 3)}, Evi Selvia Dewi⁵⁾, Romi Fadli¹⁾

¹⁾Teknik Geodesi dan Geomatika, Universitas Lampung, Indonesia

²⁾Center for Remote Sensing, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

³⁾ForMIND, Indonesia

⁴⁾Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Indonesia

⁵⁾Sekolah Menengah Atas Pasundan 1, Cianjur, Indonesia

Email: firmam.ghazali@eng.unila.ac.id

ABSTRACT

Studying the process of land succession that occurs in open land by observing water losses in the soil is very important to know how long it takes for plants to grow naturally. Water content in the soil is understood as soil moisture. It was estimated using brightness index (BI) and a linear model of soil moisture (ω) from RGB bands of aerial photo data taken in four different times during four days. This study aims to understand changes in vegetation cover and distribution on the surface of the earth through changes in water moisture that changes all the time. The BI and ω was applied to a small area of bare land area around the University of Lampung. Besides that the quality of vegetation growth also evaluated using Green-Red Vegetation Index (GRVI). The results obtained indicates a moderate and weak correlation between the changes in soil moisture from both ω and BI and GRVI respectively. Although it failed to detect the vegetation cover change, since during that times the change in soil moisture did not follow by the succession process. Two vegetation named *Imperata cylindrical* and *Cyperatus rotundus* become the most usable plant for detecting the droughts effect while other plant is still in health condition.

Keyword: UAV, RGB, water content, land succession

PENDAHULUAN

Air yang terkandung di dalam tanah berperan sangat penting untuk tumbuhnya tanaman (Blatt, Chaumont, & Farquhar, 2014; Bouchard et al., 2007). Terlebih pada musim kemarau, kandungan air dalam tanah akan perlahan-lahan berkurang seiring dengan tingginya penguapan dan kurangnya asupan air dari hujan.

Kandungan air dalam tanah secara alamiah dipengaruhi oleh tingginya suhu udara, penguapan, tutupan vegetasi, topografi, jenis tanah dan infiltrasi air hujan (Sofyan, Wahjunie, & Hidayat, 2017). Di daerah beriklim tropis, proses evaporasi yang terjadi terutama di area yang tidak mempunyai tutupan vegetasi cukup dan terlebih hanya berupa tanah kosong, proses evaporasi terjadi lebih cepat. Sehingga,

butiran tanah akan melepas air lebih cepat ke atmosfer dalam bentuk uap air (Penman, 2004). Selain dari pada itu, peran topografi, memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap kandungan air dalam tanah. Seiring dengan ketinggian berkurang, kelembaban tanah pun berkurang (Muchsin, 2010). Lebih jauh lagi, sejumlah faktor terkait dengan kelembaban tanah juga dapat dipengaruhi jenis tumbuhan yang tumbuh, arah hadap lereng, dan jumlah nitrogen dalam tanah. Ketiganya, memberikan kontribusi terhadap variasi dari tingkat kelembaban tanah sebanyak 35.7%, 7.7%, dan 3.1% (Luo et al., 2019).

Tingginya penguapan tidak hanya terjadi di tanah terbuka saja, melainkan di daerah yang mempunyai tutupan vegetasi yang rapat seperti hutan hujan tropis, area

perkebunan yang sudah memasuki fase dewasa dan tanaman padi sawah yang sudah memasuki fase akhir menjelang panen. Uap air yang terbentuk dari proses evaporasi tersebut tidak sepenuhnya terlepas ke atmosfer, melainkan tetap berada di antara permukaan tanah dan batas kanopi bagian bawah. Ini dapat dirasakan ketika berada di area hutan akan terasa lebih lembab, meskipun tidak sedang turun hujan dan pada siang hari yang terik.

Pada tanah yang mengandung tekstur lempung yang tinggi, jumlah kandungan air pada tanah yang terukur < 20% di kedalaman 40 cm dapat dikatakan kering. Sementara 40% di kedalaman 20 cm dapat dikatakan basah (Kirkham, 2005). Pada tanah yang ditumbuhi oleh vegetasi yang rapat, akan mempunyai kelembaban yang tinggi. Yaitu $0.2 - 0.6 \text{ cm}^3$. Ini lebih tinggi 0.1 cm^3 dari pada tanah yang ditumbuhi oleh rumput pada padang rumput (Luo et al., 2019). Pada tanah terbuka dengan tekstur tanah medium atau bertekstur lempung mempunyai kelembaban tanah diatas 1% (Gholami Bidkhani & Mobasheri, 2018) tapi tidak lebih dari 2% per cm^3 .

Pada area yang relatif lebih sempit, untuk mengetahui kandungan air di dalam tanah dapat dilakukan dengan menggunakan alat deteksi portable, menghitung bobot tanah kering dan basah, analisis data satelit, kombinasi data satelit dengan data lapangan sampai pada penggunaan foto udara yang hanya dilengkapi kanal biru, merah dan hijau saja. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh berbasis satelit, beragam ukuran resolusi spasial dapat membantu menjelaskan proses terjadinya perubahan kelembaban tanah. Yang artinya telah terjadi proses hilangnya air dalam butiran tanah dekat permukaan (Gao, 1996) dan juga selalu berkorelasi dengan tumbuhan yang tumbuh di atasnya (Engstrom, Hope, Kwon, & Stow, 2008; McFeeters, 1996). Terkait dengan tumbuhan yang tumbuh di atasnya, variasi jenis tumbuhan yang tumbuh dapat memberikan

perbedaan dalam tingkat kelembaban tanah (Gholami Bidkhani & Mobasheri, 2018).

Karakteristik dari perubahan kelembaban tanah dianggap sebagai faktor pengganggu didalam perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Kehilangan kandungan air dalam jumlah yang besar bisa menjadi penghambat untuk tanaman tersebut untuk menghasilkan bunga, memproduksi buah atau umbi dan pada akhirnya berkontribusi pada gagalnya panen (Rossato et al., 2017). Di wilayah tropis sendiri, pengaruh iklim dengan musim hujan dan kemarau yang hampir rata sepanjang tahun juga bisa berkontribusi pada hal yang sama (Kassie et al., 2013).

Sejumlah vegetasi perintis seperti rumput dan lumut biasanya menandai proses suksesi lahan baik primer dan sekunder. Proses tersebut lebih mudah diamati pada area hutan yang telah mengalami deforestasi dan pembakaran. Sekurang-kurangnya, akan membutuhkan waktu empat bulan lamanya untuk tanaman bisa tumbuh seluas 1m^2 . Setelahnya, pohon berkayu dan rerumputan tumbuh pesat (Uhl, Clark, Clark, & Murphy, 1981). Proses suksesi yang terjadi di wilayah beriklim kering dan semi-kering dapat terjadi sangat lambat (Martinez-Duro, Ferrandis, Escudero, Luzuriaga, & Herranz, 2010). Demikian halnya pada proses suksesi di lahan kosong sepertinya akan sulit terjadi pada musim kemarau. Sehingga fenomena yang mungkin dapat diamati adalah bagaimana perubahan kelembaban tanah di area tanpa vegetasi dapat memberikan pengaruh pada area bervegetasi disekitarnya. Indikasi sederhananya adalah ketika terjadi perubahan tutupan lahan dari yang semula tanpa vegetasi berubah menjadi bervegetasi, maka pada area tersebut sedang berlangsung proses suksesi.

Untuk mengetahui hal tersebut, perlu dilakukannya serangkaian pengamatan perubahan kelembaban tanah terhadap proses suksesi lahan dengan menggunakan foto udara dari UAV.

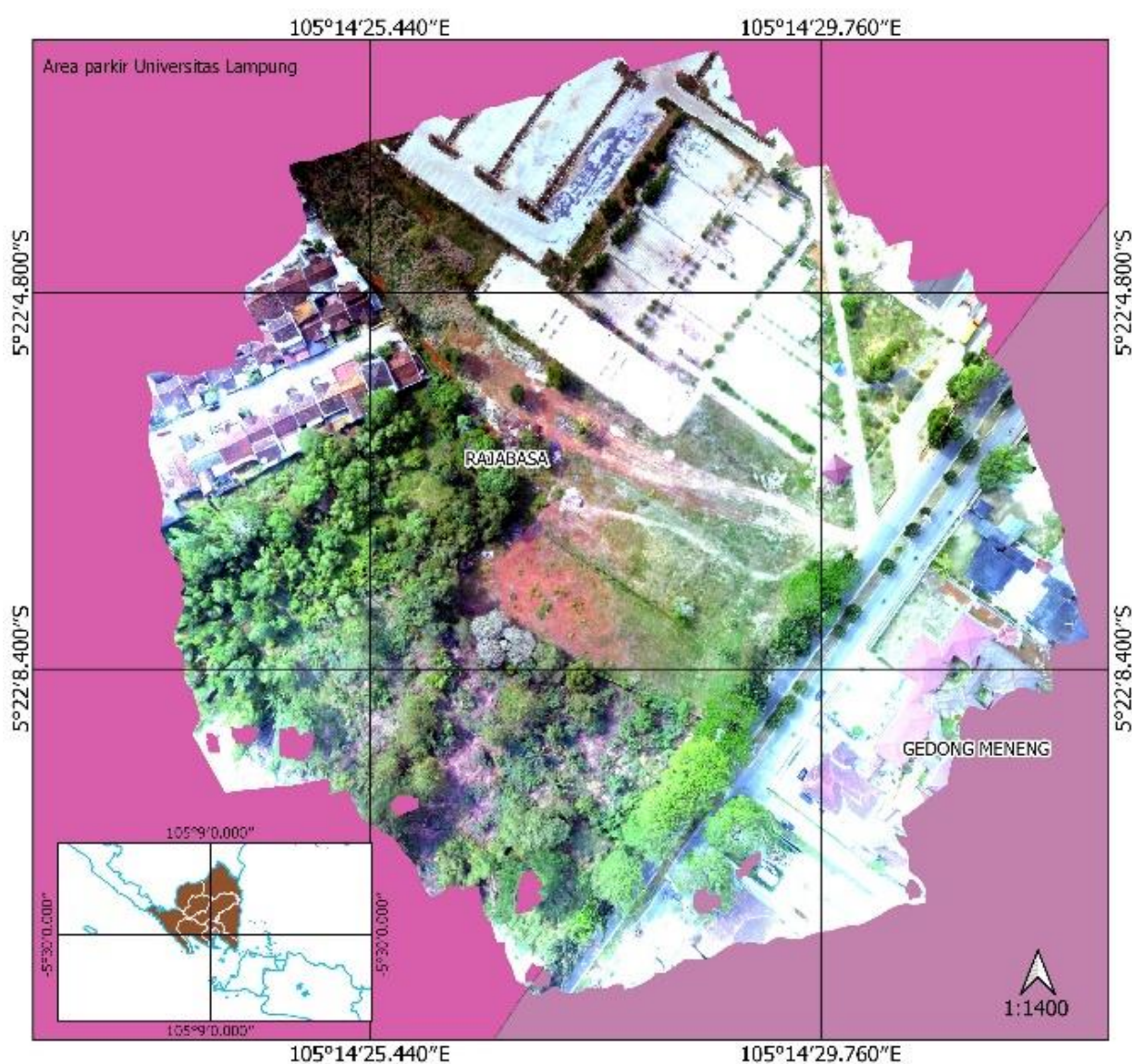
METODE

A. Area studi

Studi area berada di sebuah tanah kosong di dekat area parkir terpadu di Universitas Lampung. Area ini mempunyai kemiringan lereng yang relatif datar yaitu 0-5°. Wilayah kota Bandar Lampung sendiri pada waktu dilaksanakannya studi ini sedang berada pada puncak musim kemarau (Markhamah, 2019). Dimana biasanya berlangsung dari bulan April sampai dengan

bulan Oktober atau mengikuti siklus pergerakan angin musim.

Kondisi area studi pada waktu pengambilan waktu data, terdiri dari area terbangun berupa lahan parkir, area bervegetasi berupa rumput, semak dan beragam jenis pohon seperti Kelapa (*Cocos nucifera*), Akasia (*Acacia mangium*), Jengkol dan Pisang (*Musa sp*), juga timbunan sampah dan area lain yang tidak bervegetasi. Kondisi area ini dapat dilihat dari foto udara pada Gambar 1.



Gambar 1. Area studi pengamatan hilangnya kelembaban tanah di area parkir kampus Universitas Lampung

Sejumlah varietas rumput dan sejumlah tanaman semak lainnya dapat ditemukan dan tumbuh di sebagian area studi. Diantaranya membentuk sebuah komunitas-komunitas kecil dengan distribusi yang acak. di antara *Mimosa pudica*, *Solanum torvum*, *Clitoria ternatea*, *Euphorbia hirta*, *Tusilago farfara*, *Ipomea sp*, *Imperata cylindrical*, *Sida rhumbifolia*,

Cyperatus rotundus, *Delonix regia*, dan *Bidens pilosa* (Gambar 2).

Dengan menggunakan foto udara dari UAV, diharapkan distribusi vegetasi tersebut dapat dideteksi sehingga relasi antara perubahan nilai kelembaban dengan proses suksesi di area tersebut bisa dijelaskan dan dapat dipahami dengan baik.



Gambar 2. Dari kiri ke kanan searah jarum jam. *Mimosa pudica*, *Solanum torvum*, *Clitoria ternatea*, *Euphorbia hirta*, *Tusilago farfara*, *Ipomea sp*, *Imperata cylindrical*, *Sida rhumbifolia*, *Cyperatus rotundus*, *Delonix regia*, dan *Bidens pilosa*

B. Data

Data yang digunakan dalam studi ini adalah lima buah data foto udara yang diperoleh dari pemotretan pesawat tanpa awak (drone) yang sudah dilengkapi dengan standar kamera RGB 12 mega piksel (terdiri dari tiga kanal, yaitu biru, hijau dan merah). Data ini diambil dari ketinggian 80 meter di atas permukaan tanah, ukuran sidelap dan overlapnya 70% dan 65% dan menghasilkan

foto udara warna asli (true color) dengan ukuran piksel 3.5 cm.

Karakteristik dari data UAV yang diperoleh terdiri dari tiga kanal yaitu kanal biru, hijau dan merah dengan rentang nilai dari masing-masing piksel pada kanal tersebut adalah 30-161, 36-159 dan 32-171. Dimana nilai yang rendah menunjukkan derajat keabuan yang rendah akan terlihat gelap, sementara nilai yang tinggi mempunyai derajat keabuan yang tinggi dan

terlihat terang. Mata manusia bisa melihat warna tersebut dari hitam ke putih.

Data foto UAV ini diambil sebanyak empat kali. Yaitu pada 20-23 Agustus 2019 pada jam 11:00 dengan menggunakan Dji Phantom 3 Professional. Data tersebut akan digunakan untuk mengamati dinamika yang terjadi pada faktor edafik khususnya perubahan kelembaban tanah dan perubahan tutupan area bervegetasi.

C. Penentuan nilai kelembaban tanah

Nilai kelembaban tanah diperoleh dengan memperhatikan tingkat kecerahan dari masing-masing nilai piksel pada keseluruhan area studi yang diwakili dengan sejumlah titik pengamatan. Ciri khas spektral tanah menjadi acuan analisis pada tahap ini. Dimana pada jumlah pantulan pada kanal biru, hijau dan merah dari objek berupa tanah akan perlahan-lahan bertambah. Baru pada kanal setelah 2000 nm (inframerah pendek), nilai pantulannya akan perlahan-lahan berkurang. Besar kecilnya penambahan nilai piksel tersebut dapat diasumsikan sebagai sebuah perbedaan tingkat kelembaban tanah (Huete, 2004; Tucker, 1979).

Disamping itu penggunaan kombinasi ketiga kanal dari UAV dalam bentuk *band ratio* yaitu formula *brightness index* (BI) (Schmidt & Karnieli, 2001) dan sebuah model regresi linier (Kim, Son, Park, Kim, & Jeon, 2019) juga digunakan untuk menentukan nilai kelembaban tanah. Sementara perubahan nilai tersebut dapat diketahui dengan cara membuat sebuah analisis multi-temporal dan dengan

melakukan komparasi dari kedua hasil tersebut. Indeks kelembaban tanah yang digunakan pada studi ini diperoleh dari persamaan (1) dan (2).

$$\omega = aR + bG + cB + d \quad (1)$$

$$BI = \sqrt{\frac{R+R}{G+G}} \quad (2)$$

Dimana ω sebagai kandungan air dalam tanah (kelembaban tanah), $a, b, c,$ dan d sebagai coefficient determination (R^2) dari ketinggian terbang UAV terhadap nilai kelembaban tanah, dan RGB sebagai kanal merah, hijau dan biru dari foto udara UAV. Nilai dari R^2 yang digunakan adalah rata-rata dari nilai R^2 pada ketinggian 50 m dan 100 m. Mengingat data foto udara diakuisisi pada ketinggian 80 m, dan nilai R^2 tidak tersedia. Karena pada studi ini tidak dilakukan pengumpulan data primer berupa nilai kelembaban tanah aktual. Nilai R^2 tersebut disajikan pada tabel 1.

Untuk menentukan nilai BI, diperlukan kanal merah (R) dan hijau (G) dari foto UAV. Hasil yang diperoleh mempunyai sensitifitas pada tingkat kecerahan tanah. Dimana tingkat kecerahan tersebut juga terkait dengan kelembaban tanah dan konsentrasi garam pada tanah (Escadafal & Bacha, 1995). Tanah dengan kecerahan tinggi, berarti mempunyai kelembaban tanah yang rendah, dan pada tanah dengan tingkat kecerahan yang rendah berarti mempunyai tingkat kelembaban yang tinggi .

Tabel 1. Nilai koefisien determinasi (R^2) untuk menghitung nilai kelembaban tanah berdasarkan data RGB dari foto udara

Ketinggian	80 m	
Koefisien	a	- 0.407
	b	- 0.4225
	c	0.19
	d	94.05

D. Relasi perubahan nilai kelembaban dengan karakteristik tumbuh vegetasi

Telah dijelaskan dibagian terdahulu, bahwa air berperan dalam mendukung tumbuh tumbuhan. Kehilangan sejumlah air yang terkandung dalam tanah berkontribusi terhadap peningkatan stress pada tanaman tersebut yang ditandai dengan adanya perubahan dari bentuk, warna dan fungsinya. Karakteristik tersebut dideteksi oleh nilai Green-Red Vegetation Index (GRVI) (Motohka, Nasahara, Oguma, & Tsuchida, 2010).

GRVI digunakan untuk melihat perubahan musiman pada vegetasi di permukaan tanah yang kosong dengan resolusi temporal yang tinggi, juga secara langsung dapat menjelaskan proses fenologi sekaligus respon pada adanya gangguan alamiah terhadap proses tumbuh dan berkembangnya vegetasi tersebut (Motohka et al., 2010). Sederhananya, interpretasi nilai GRVI ini dapat dilakukan dengan memperhatikan nilai indeksnya. Dimana $GRVI = 0$ berarti tidak ada vegetasi yang tumbuh di area tersebut.

Munculnya tumbuhan berupa rumput, nilai GRVI akan berkurang menjadi negatif. Namun, semakin lebat vegetasi yang tumbuh, nilai GRVI akan berangsur naik dengan cepat. Nilainya menjadi positif. Dan akan kembali berkurang seiring dengan layunya tanaman tersebut. Sementara untuk melihat relasi nilai kelembaban (ω) dan BI terhadap indeks vegetasi (GRVI), dapat dengan mudah dilihat berdasarkan karakteristik dari bentuk diagram sebar. Formula GRVI ada pada persamaan (3).

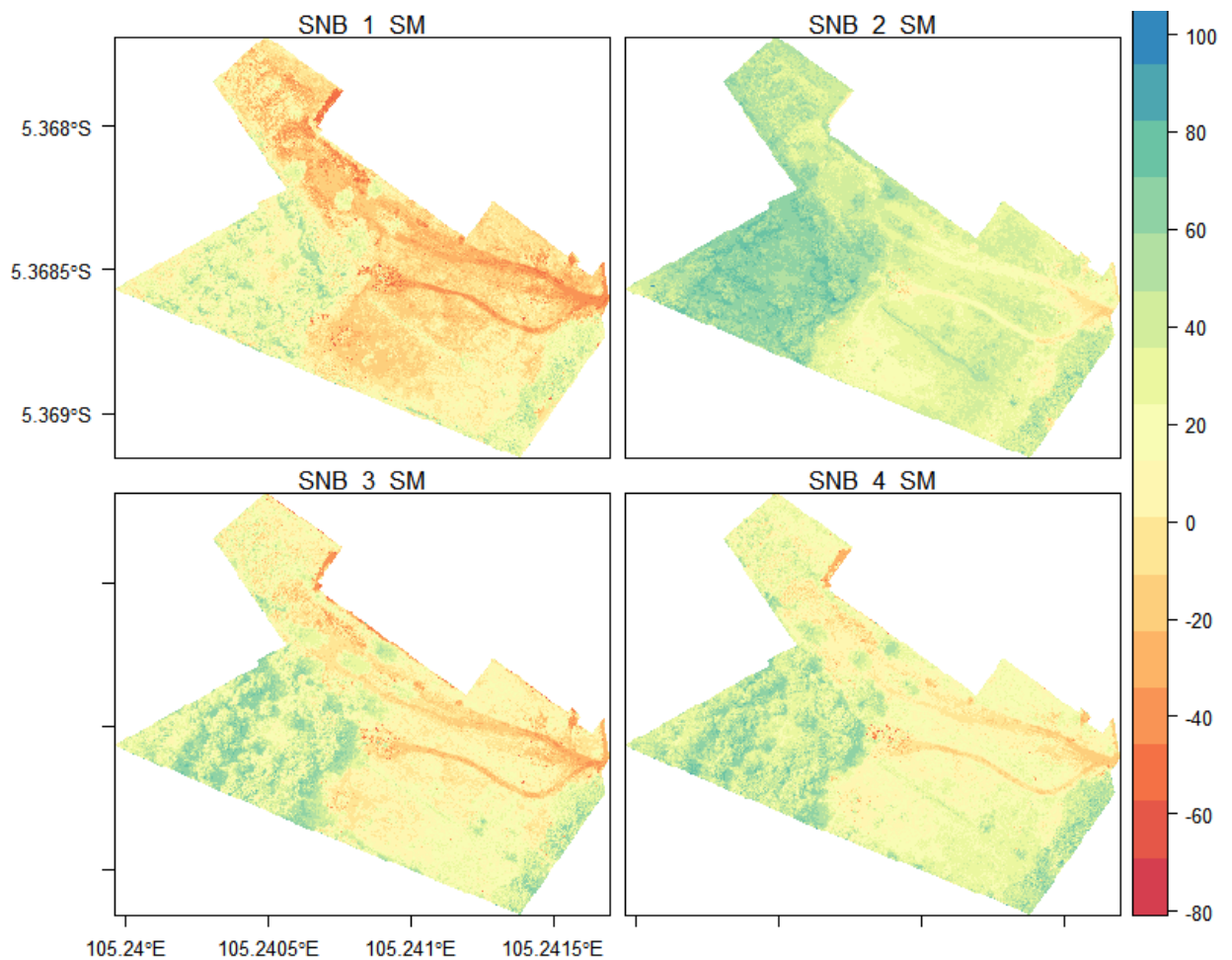
$$GRVI = \frac{G-R}{G+R} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Estimasi nilai kelembaban tanah dengan UAV

Status kandungan air dalam tanah yang direpresentasikan dengan nilai kelembaban tanah (ω) dari hasil estimasi data UAV menggunakan persamaan (1) menunjukkan adanya perubahan yang dari hari ke hari. Nilai kelembaban tanah secara umum berada pada rentang -80 sampai 100 (tanpa satuan). Nilai tersebut menunjukkan kelembaban tanah dari yang paling kering ke yang paling lembab di area studi. Secara keseluruhan, berada pada kondisi yang yang kering . Dimana warna oranye tua menunjukkan area paling kering dan tanpa adanya tutupan vegetasi, sementara warna biru merupakan bagian yang tertutup oleh vegetasi (Gambar 3).

Pola perubahannya sama dengan hasil estimasi nilai kelembaban tanah (ω). Namun jika dibandingkan, penggunaan kelembaban tanah (ω) lebih peka terhadap keberadaan vegetasi dari pada BI. Sehingga terlihat potensi dari penggunaan (ω) untuk mendeteksi kandungan air dalam tanaman. Selain dari pada itu, distribusi vegetasi di area tersebut seperti *Mimosa pudica*, *Solanum torvum*, *Clitoria ternatea*, *Euphorbia hirta*, *Tusilago farfara*, *Ipomea sp.*, *Imperata cylindrical*, *Sida rhombifolia*, *Cyperatus rotundus*, *Delonix regia*, dan *Bidens pilosa* dapat dibedakan dengan baik dari area tanah yang terbuka. Meskipun demikian hubungan kedua indeks tersebut menunjukkan adanya hubungan positif yang sedang dengan nilai koefisien determinasinya (R^2) dari 44.52% - 53.19%.



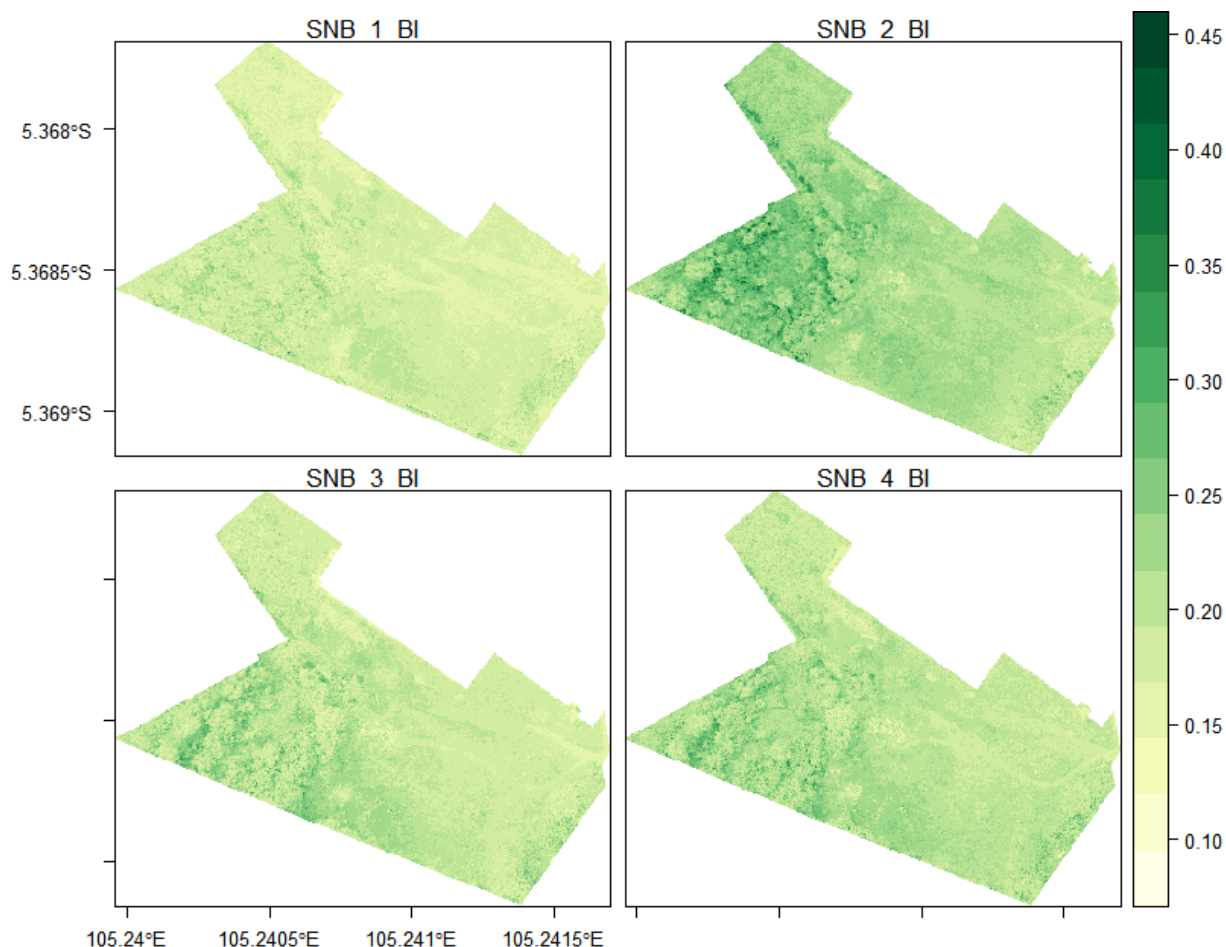
Gambar 3. Distribusi nilai *soil moisture* (ω) dari lahan terbuka

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada hari pertama, kondisi kelembaban tanah menjadi yang paling kering dan hari kedua menjadi yang paling lembab. Sementara untuk dua hari lainnya, kelembaban tanah sempat berkurang sebelum kembali bertambah.

Pengamatan yang dilakukan pada jam 10:00 di pagi hari selama empat hari tersebut memberikan penjelasan bahwa kondisi kelembaban tanah pada musim kemarau diwaktu sinar matahari sebelum mencapai titik terpanas (biasanya terjadi pada pukul 14:00 – 15:00) tetap menunjukkan adanya

fluktuasi. Ini artinya pada pagi hari pun, proses evaporasi dan transpirasi sudah terjadi sejak matahari terbit.

Penggunaan formula *brightness index* (BI) untuk mengetahui tingkat kelembaban tanah dapat diketahui dari keseluruhan nilai pada rentang 0-1. Dimana 0 menunjukkan kering dan 1 menunjukkan basah atau kelembaban yang tinggi. Hasil estimasi nilai BI berada pada rentang 0.10-0.45 atau berada pada kondisi kering dan sangat kering (Gambar 4).



Gambar 4. Distribusi nilai *Brightness index* dari lahan terbuka

B. Relasi perubahan nilai kelembaban dengan karakteristik tumbuh vegetasi

Karakteristik dari vegetasi yang tumbuh di area tersebut direpresentasikan melalui nilai GRVI. Indeks tersebut memberikan nilai -1 ke 1 yang berarti non vegetasi dan vegetasi. Keempat data UAV dapat terklasifikasi dengan baik terutama di area yang bervegetasi (> 0.1) dan area lainnya yang berupa area bervegetasi dengan kondisi yang kering ($< 0.1 - -0.2$) dan area yang tanpa vegetasi ($< - 0.2$). Distribusi nilai tersebut beserta perubahannya secara spasial disajikan dalam Gambar 5.

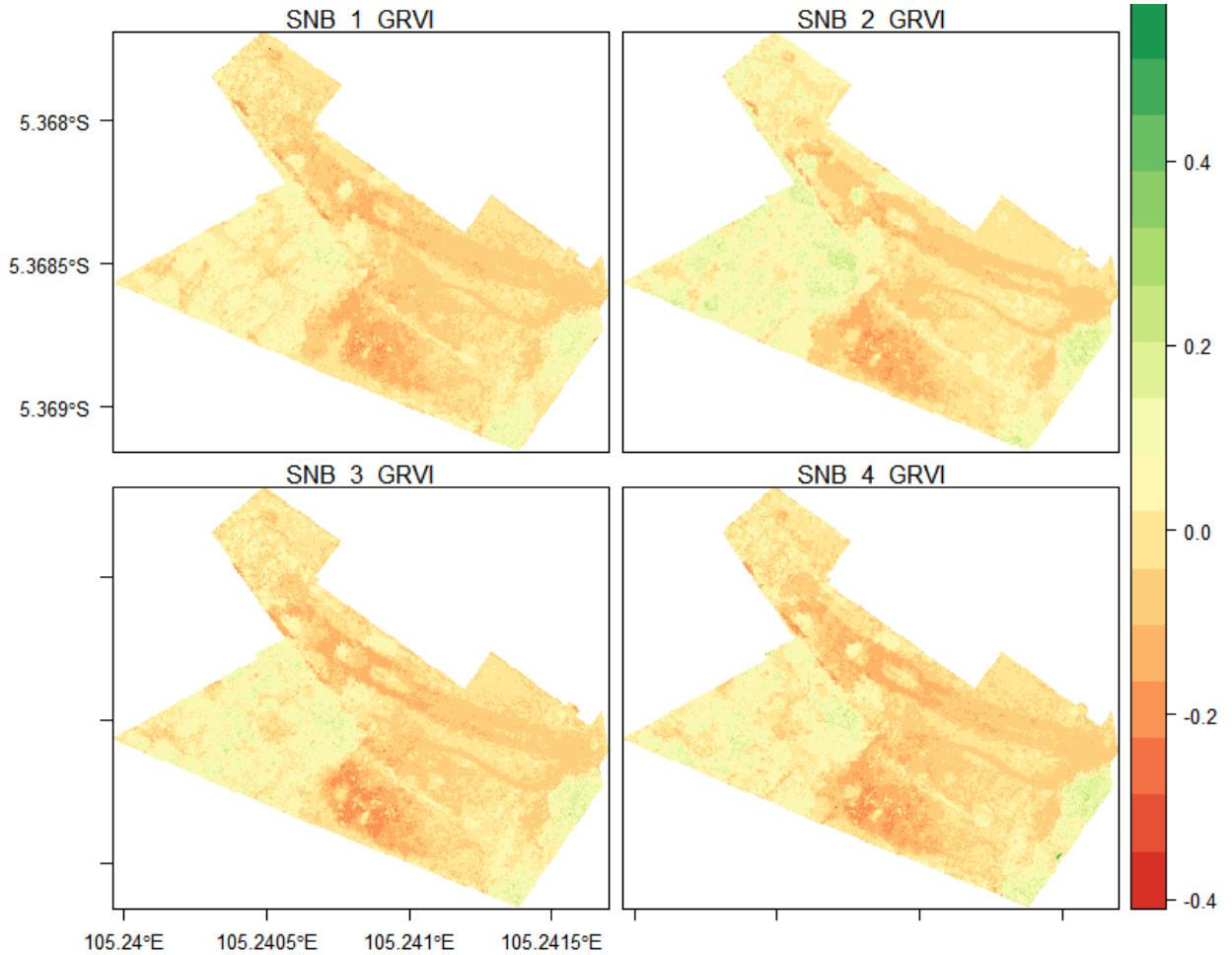
Interpretasi perubahan nilai kelembaban tanah dengan kondisi tumbuhan yang ada di area tersebut dapat dilihat dari

adanya sejumlah vegetasi seperti *Mimosa pudica*, *Solanum torvum*, *Clitoria ternatea*, *Euphorbia hirta*, *Tusilago farfara*, *Ipomea sp*, *Imperata cylindrical*, *Sida rhombifolia*, *yperatus rotundus*, *Delonix regia*, dan *Bidens spilosa* dapat bertahan dengan baik. Meskipun situasi kekeringan ini berkontribusi untuk mengurangi tingkat kehijauan dari rumput *Imperata cylindrical* yang mulai menguning dan *Cyperatus rotundus* yang juga terlihat sudah berubah warna menjadi kecoklatan.

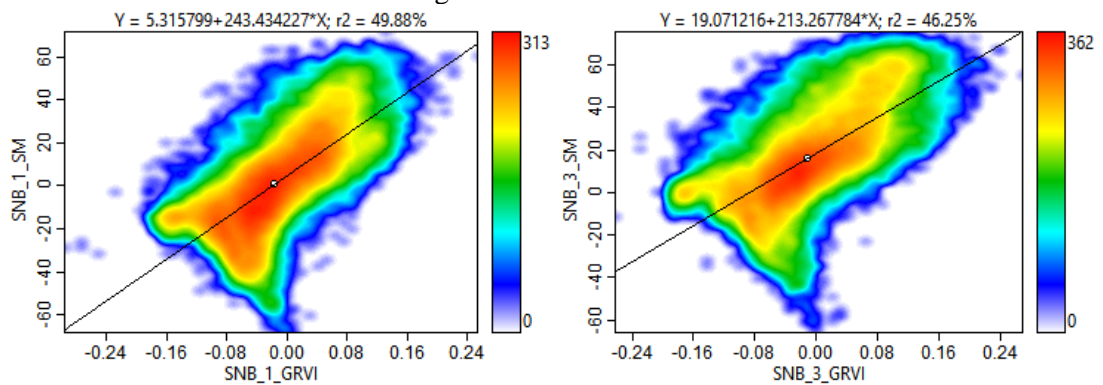
Penjelasan tersebut yang menjadikan relasi antara nilai GRVI terhadap nilai kelembaban (ω) dari pengamatan hari ke-1 sampai ke-4 menunjukkan korelasi yang positif dengan nilai R^2 49.88%, 51.25%, 46.25% dan 51.11% secara berurutan (Gambar 6.a). Namun korelasi yang cukup baik antara keduanya tidak diikuti dengan baik oleh

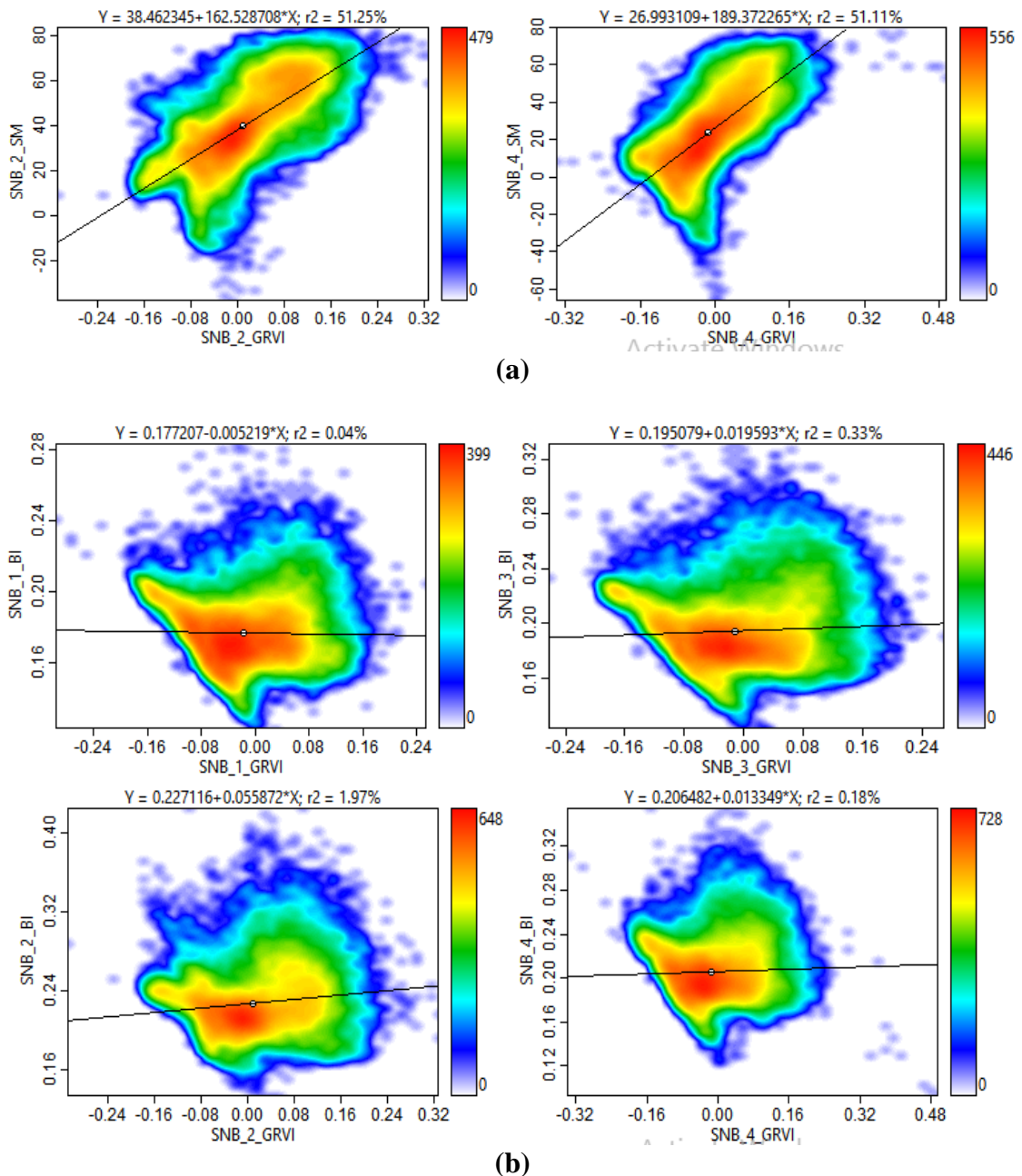
relasi antara GRVI dan BI. Relasi keduanya hanya menunjukkan korelasi yang lemah sampai hampir tidak berkorelasi. Nilai R^2

berada pada rentang 0.04 % - 1.97% (Gambar 6.b).



Gambar 5. Distribusi nilai Green-Red Vegetation Index dari lahan terbuka





Gambar 6. Relasi nilai Green-Red Vegetation Index (GRVI) terhadap perubahan nilai kelembaban tanah dari lahan terbuka berdasarkan nilai ω (a) dan BI (b).

KESIMPULAN

Studi tentang perubahan kelembaban tanah terhadap proses suksesi lahan di area tanah terbuka menggunakan data UAV ini memberikan sejumlah kesimpulan diantara proses evapotranspirasi berlangsung dari pagi hari sampai sore hari dimulai sejak matahari bersinar. Kondisi ini berkontribusi pada

adanya variasi nilai kelembaban tanah yang teramati meskipun berdasarkan data UAV yang diambil pada waktu yang sama.

Pengamatan yang dilakukan selama empat hari tersebut tidak menunjukkan adanya penambahan luas area bervegetasi, sehingga proses suksesi lahan di area yang terbuka belum berlangsung meskipun musim kemarau sudah mau memasuki akhir.

Melainkan dua variates rumput yaitu *Imperata cylindrical* dan *Cyperatus rotundus* menjadi tumbuhan yang paling rentan mengalami stress atau mati akibat kekeringan. sementara vegetasi lainnya masih bertahan dan bahkan ada yang masih mampu berbunga. Sehingga dua vegetasi tersebut dapat menjadi indikator lain selain hanya memperhatikan area tanah terbuka berdasarkan tingkat kecerahannya pada data UAV yang belum diolah.

REFERENSI

- Blatt, M. R., Chaumont, F., & Farquhar, G. (2014). Focus on water. *Plant Physiology*, 164(4), 1553–1555. <https://doi.org/10.1104/pp.114.900484>
- Bouchard, N., Harmon, K., Markham, H., Vandefifer, S., Lab, E., Thomas, S., & Morrison, E. (2007). *Effect of Various Types of Water on The Growth of Radishes (Raphanus sativus)*.
- Engstrom, R., Hope, A., Kwon, H., & Stow, D. (2008). The relationship between soil moisture and NDVI near barrow. *Physical Geography*, 29(1), 38–58. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.29.1.38>
- Escadafal, R., & Bacha, S. (1995). Strategy for the dynamic study of desertification. In *Proceedings of the ISSS International Symposium Ouagadougou*, (pp. 19–34). Burkino Faso.
- Gao, B. C. (1996). NDWI-A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing Environment*, 58, 257–266.
- Gholami Bidkhani, N. O., & Mobasheri, M. R. (2018). Influence of soil texture on the estimation of bare soil moisture content using MODIS images. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 911–920. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1514986>
- Studi lanjutan yang bisa dilakukan kedepannya adalah menggunakan teknik *close range photogrammetry* untuk melihat bagaimana pengaruh perubahan kelembaban tanah berdasarkan komunitas tumbuhan yang tumbuh. Karena berdasarkan data foto udara UAV yang diambil dari ketinggian 80 meter diatas permukaan tanah, kondisi tersebut belum dapat diamati dengan baik.
- Huete, A. R. (2004). Remote sensing for environmental monitoring. In J. F. Artiola, I. L. Pepper, & M. L. Brusseau (Eds.), *Environmental Monitoring and Characterization* (1st ed., pp. 183–206). San Diego: Elsevier, Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-064477-3.50013-8>
- Kassie, G. T., Langyintuo, A., Erenstein, O., Maleni, D., Gwara, S., & Abate, T. (2013). Drought risk and maize production in southern Africa. *Journal of Asian Scientific Research*, 3(3), 956–973. Retrieved from <http://aessweb.com/journal-detail.php?id=5003>
- Kim, D., Son, Y., Park, J., Kim, T., & Jeon, J. (2019). Evaluation of calibration method for field application of UAV-based soil water content prediction equation. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/2486216>
- Kirkham, M. B. (2005). *Static Water in Soil. Principles of Soil and Plant Water Relations* (1st ed.). Kansas: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-012409751-3/50006-2>
- Luo, W., Xu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Z., Peng, T., ... Zhang, R. (2019). UAV based soil moisture remote sensing in a karst mountainous catchment. *Catena*, 174(November 2018), 478–489. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11>

- 017
- Markhamah, S. S. (2019). BMKG: Puncak Kemarau di Lampung Agustus Hingga September. Retrieved August 20, 2019, from <https://lampung.tribunnews.com/2019/08/06/bmkg-puncak-kemarau-di-lampung-berlangsung-sepanjang-agustus-hingga-september>
- Martinez-Duro, E., Ferrandis, P., Escudero, A., Luzuriaga, A. L., & Herranz, J. M. (2010). Secondary old-field succession in an ecosystem with restrictive soils: Does time from abandonment matter? *Applied Vegetation Science*, 13(2), 234–248. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2009.01064.x>
- McFeeters, S. K. (1996). The Use of The Normalized Difference Water Index (NDWI) in The Delineation of Water Feature. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 425–432.
- Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H., & Tsuchida, S. (2010). Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2(1), 2369–2387. <https://doi.org/10.3390/rs2102369>
- Muchsin, F. (2010). *Estimasi kelembaban tanah skala regional (Studi kasus wilayah kabupaten Subang)*. Universitas Indonesia.
- Penman, H. L. (2004). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings on the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 193(1032), 2–4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Rossato, L., Alvalá, R. C. do. S., Marengo, J. A., Zeri, M., Cunha, A. P. M. d. A., Pires, L. B. M., & Barbosa, H. A. (2017). Impact of soil moisture on crop yields over Brazilian semiarid. *Frontiers in Environmental Science*, 5(73), 16. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00073>
- Schmidt, H., & Karnieli, A. (2001). Sensitivity of vegetation indices to substrate brightness in hyper-arid. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3503–3520.
- Sofyan, R. H., Wahjunie, E. D., & Hidayat, Y. (2017). Karakterisasi fisik dan kelembaban tanah pada berbagai umur reklamasi lahan bekas tambang. *Jurnal Buletin Tanah Dan Lahan*, 1(1), 72–78.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Uhl, C., Clark, K., Clark, H., & Murphy, P. (1981). Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio negro region of the Amazon basin. *The Journal of Ecology*, 69(2), 631. <https://doi.org/10.2307/2259689>