

ANALISIS PENGARUH TUTUPAN LAHAN TERHADAP KELEMBAPAN TANAH BERDASARKAN CITRA SENTINEL - 1 DI KABUPATEN SUMEDANG

Bagas Pangestu¹, Ir. Achmad Ruchlihadiana T, M.M.², Prima Rizky Mirelva, S.T., M.T.,
Ph.D.³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

³Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

Soil moisture is an important parameter in hydrology, agriculture, and environmental monitoring studies. Direct monitoring on a large scale often faces cost and time constraints. Therefore, remote sensing technology, especially Synthetic Aperture Radar (SAR) from Sentinel-1 satellite imagery, is an effective alternative to estimate soil moisture spatially and temporally.

This study aims to analyze the effect of land cover on soil moisture in Sumedang Regency. The methods used include radar image pre-processing, surface roughness calculation, dielectric constant estimation using the Dubois model, and soil moisture calculation with the TOPP algorithm. Furthermore, the soil moisture results are classified into five classes and compared based on the type of land cover in the study area.

The results show that land cover significantly influences soil moisture levels. Low soil moisture levels dominate the study area, accounting for 79.83% of the total area, with an area of 124,579.06 hectares. This study demonstrates that Sentinel-1 imagery can provide representative and accurate soil moisture information and serve as a basis for consideration in land and water resource management.

Keywords: *soil moisture, land cover, Sentinel-1, SAR, Dubois model, TOPP algorithm*

ABSTRAK

Kelembapan tanah merupakan parameter penting dalam studi hidrologi, pertanian, dan pemantauan lingkungan. Pemantauan secara langsung dalam skala luas seringkali menghadapi keterbatasan biaya dan waktu. Oleh karena itu, teknologi penginderaan jauh, khususnya *Synthetic Aperture Radar* (SAR) dari citra satelit Sentinel-1, menjadi alternatif yang efektif untuk mengestimasi kelembapan tanah secara spasial dan temporal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tutupan lahan terhadap kelembapan tanah di Kabupaten Sumedang. Metode yang digunakan meliputi pra-pemrosesan citra radar, perhitungan kekasaran permukaan, estimasi konstanta dielektrik menggunakan model Dubois, dan perhitungan kelembapan tanah dengan algoritma TOPP. Selanjutnya, hasil kelembapan tanah diklasifikasikan ke dalam lima kelas dan dibandingkan berdasarkan jenis tutupan lahan yang ada di wilayah studi.

Hasil menunjukkan bahwa tutupan lahan memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat kelembapan tanah. Kelas kelembapan tanah kategori rendah mendominasi area studi sebesar 79,83% dengan luas 124.579,06 Ha dari total luas wilayah. Penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan citra Sentinel-1 dapat memberikan informasi

kelembapan tanah yang representatif dan akurat, serta dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pengelolaan sumber daya lahan dan air.

Kata Kunci: kelembapan tanah, tutupan lahan, Sentinel-1, SAR, model Dubois, algoritma TOPP

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemanasan global merupakan peningkatan suhu rata-rata di seluruh permukaan bumi yang disebabkan oleh akumulasi gas rumah kaca dalam jumlah besar, sehingga panas matahari terperangkap di atmosfer (Kusumawardhani & Gernowo, 2015). Selama satu abad terakhir, suhu rata-rata permukaan bumi telah mengalami kenaikan sebesar $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ($1,33 \pm 0,32^{\circ}\text{F}$) (Sarinda, Sudarti, & Subiki, 2017).

Indonesia yang beriklim tropis juga turut merasakan dampak pemanasan global, salah satunya melalui peningkatan kejadian bencana hidrometeorologi seperti kekeringan. Salah satu faktor yang memengaruhi tingkat kekeringan adalah suhu permukaan tanah, yang berkontribusi terhadap berkurangnya ketersediaan air di suatu wilayah (Arifin & Sukojo, 2012).

Kelembapan tanah merujuk pada kandungan air yang terdapat di dalam pori-pori tanah, baik sebagian maupun seluruhnya, yang terletak di atas muka air tanah (Jamulya dan Suratman, 1993). Definisi lainnya menyebutkan bahwa kelembapan tanah menggambarkan banyaknya air yang tersimpan di antara pori-pori tanah. Kondisi kelembapan ini bersifat sangat dinamis karena dipengaruhi oleh proses penguapan dari permukaan tanah, transpirasi tanaman, serta perkolasi air ke lapisan tanah yang lebih dalam (Suyono & Sudarmadi, 1997).

Data mengenai kelembapan tanah dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan potensi aliran permukaan, mengendalikan banjir,

menganalisis risiko erosi tanah dan kestabilan lereng, serta dalam pengelolaan sumber daya air, studi geoteknik, dan evaluasi kualitas air (Arnold, 1999). Selain itu, kajian terhadap perubahan suhu permukaan tanah yang berkaitan dengan fluktuasi kelembapan tanah dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat evapotranspirasi (Alli & Omofunmi, 2021).

Pengambilan data kelembapan tanah secara langsung dalam cakupan wilayah yang luas umumnya membutuhkan waktu yang cukup lama serta biaya yang tinggi (Paloscia et al., 2013). Oleh karena itu, penggunaan sensor satelit menjadi alternatif yang lebih efisien dalam hal waktu dan biaya untuk memperoleh informasi kelembapan tanah (Entekhabi & Eagleson, 1989). Meski demikian, estimasi kelembapan tanah melalui pendekatan ini tetap memerlukan perhitungan yang cermat terhadap variabel-variabel yang memengaruhinya. Karena terdapat hubungan antara kelembapan tanah dan suhu permukaan, sejumlah peneliti memanfaatkan data penginderaan jauh dari satelit yang dilengkapi sensor termal, seperti Thermal Infrared Sensors (TIRS), untuk memperoleh informasi suhu sebagai salah satu variabel pendukung (Zeng, Feng, & Xiang, 2004; Wang & Qu, 2009; Potic, Bugarski, & Varenica, 2017). Di sisi lain, untuk memperoleh estimasi kelembapan tanah yang lebih akurat, dapat digunakan citra dari satelit Synthetic Aperture Radar (SAR). Sistem SAR menjadi pilihan yang efektif karena gelombang mikro yang digunakan mampu menembus awan, kabut, dan bahkan tetap bekerja saat hujan, sehingga tidak terganggu oleh kondisi cuaca (Petropoulos et al., 2010; Bai et al., 2017).

Citra SAR didasarkan pada asumsi bahwa badan air memiliki nilai hamburan balik (σ^0) yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan permukaan lahan kering, terutama ketika kondisi angin tenang dan air dalam keadaan tergenang (Reksten, Salberg, & Solberg, 2019). Sistem SAR, seperti yang digunakan oleh satelit Sentinel-1, merupakan sensor aktif yang bekerja dengan memancarkan sinyal radar dan menangkap pantulannya dari permukaan bumi. Keunggulan utama SAR dibandingkan sensor optik adalah kemampuannya dalam melakukan akuisisi data meskipun dalam kondisi cuaca buruk ataupun malam hari (Alsdorf, Rodriguez, & Lettenmaier, 2007; Schlaffer et al., 2015). Kemampuan Sentinel-1 dalam melakukan akuisisi data pada berbagai kondisi cuaca menjadikannya alternatif yang efektif untuk memantau kelembapan tanah. Satelit ini menggunakan sistem pencitraan C-band SAR yang mampu beroperasi dalam empat mode pencitraan berbeda, dengan resolusi mencapai 5 meter dan jangkauan hingga 400 kilometer. Salah satu keunggulan utama SAR adalah kemampuannya untuk merekam data tanpa terganggu oleh awan maupun pencahayaan, sehingga dapat digunakan baik siang maupun malam hari. Sentinel-1, yang dilengkapi dengan instrumen C-SAR, memungkinkan pemantauan wilayah berskala luas secara rutin melalui konstelasi dua satelit yang mengorbit secara polar (ESA, 2024). Sistem SAR memiliki sensitivitas tinggi terhadap kandungan air dalam tanah, yang dapat diidentifikasi melalui konstanta dielektrik yang dihitung dari nilai hamburan balik radar. Nilai hamburan balik ini dapat digunakan untuk mengelompokkan kelembapan dan

kekasaran tanah ke dalam tiga pendekatan model, yaitu: empiris, teoritis, dan semi-empiris (Wagner, 1998). Nilai konstanta dielektrik menunjukkan perbedaan signifikan antara kondisi tanah kering dan basah, sehingga dapat dijadikan indikator kelembapan tanah. Salah satu metode untuk menentukan konstanta ini adalah menggunakan pendekatan semi-empiris melalui model Dubois (1995) (Nurtyawan & Nur, 2020). Model ini juga menunjukkan bahwa rasio hamburan balik antara polaritas σ^0 HH dan σ^0 VV meningkat seiring dengan naiknya kekasaran permukaan dan kandungan air tanah (Dubois, Vanzyl, & Engman, 1995).

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tutupan lahan terhadap kelembapan tanah. Penelitian ini terdiri metode pengumpulan data, metode pengolahan dan metode analisis yang kemudian akan dijelaskan sebagai berikut.

Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih pada penelitian ini adalah wilayah Kabupaten Sumedang yang secara geografis terletak di antara $6^{\circ}44' - 7^{\circ}08'$ Lintang Selatan dan $107^{\circ}21' - 108^{\circ}21'$ Bujur Timur dengan batas administrasinya yaitu (BPS, 2024):

Bagian Utara : Kabupaten Indramayu dan Kabupaten Subang

Bagian Barat : Kota Bandung dan Kabupaten Subang

Bagian Selatan : Kabupaten Garut

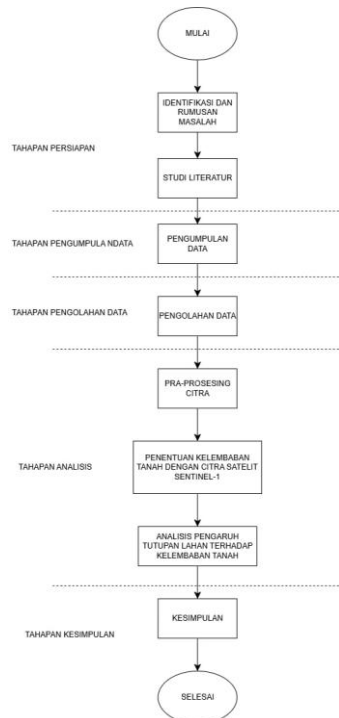
Bagian Timur : Kabupaten Majalengka



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang dilaksanakan dalam kegiatan ini dapat dilihat dari diagram di bawah ini:



Gambar 2. Kerangka Pemikiran

Tahap Pengolahan Data

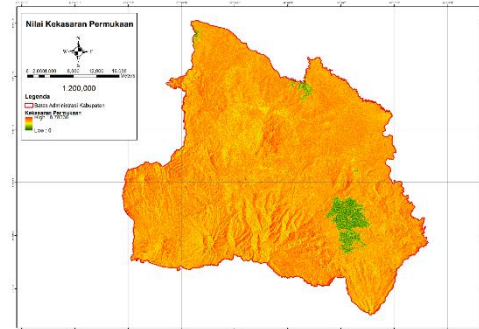
Proses pengolahan citra untuk klasifikasi nilai kelembapan tanah dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak SIG. Adapun tahapan-tahapan pengolahan data tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Pre-processing* citra dilakukan menggunakan aplikasi *Sentinel Application Platform* (SNAP), yaitu perangkat lunak *open-source* yang dikembangkan oleh ESA.
2. Tahap berikutnya adalah menghitung nilai kekasaran pada permukaan citra.
3. Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai konstanta dielektrik (ϵ) dengan menggunakan rumus dari model Dubois (1995).
4. Terakhir, citra yang telah diolah digunakan untuk menentukan nilai kelembapan tanah dengan menerapkan algoritma TOPP (1980).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengolahan Citra

1. Nilai kekasaran permukaan dari citra satelit sentinel-1 hasil perekaman menunjukkan nilai 0 untuk nilai kekasaran terendah dan nilai 8,7836 untuk nilai kekasaran tertinggi dimana nilai yang rendah hingga tinggi diwakili oleh gradasi rona warna merah hingga hijau seperti terlihat pada gambar.



Gambar 2 Hasil Nilai Kekasaran Permukaan Tanah

2. Kemudian setelah nilai kekasaran diketahui maka dapat diperoleh nilai konstanta dielektrik pada citra dimana nilai konstanta dielektrik ini digunakan untuk membangun model kelembapan tanah. Nilai konstanta dielektrik dari citra menghasilkan 5 kelas yaitu sebagai berikut:

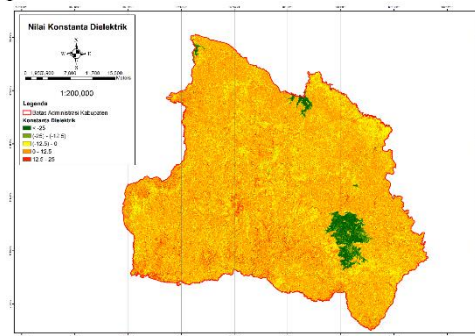
Tabel 1 Klasifikasi Nilai Konstanta Dielektrik

Nilai Konstanta Dielektrik	Klasifikasi
< -25	Sangat Rendah
(-25) – (-12,5)	Rendah
(-12,5) - 0	Sedang
0 - 12,5	Tinggi
12,5 - 25	Sangat Tinggi

Hasil klasifikasi nilai konstanta dielektrik tersebut terbagi menjadi 5 kelas dari kelas yang sangat rendah hingga sangat tinggi dan dapat dilihat

pada

Gambar:



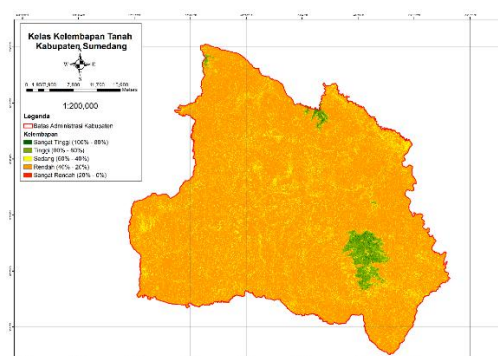
Gambar 3 Nilai Konstanta Dielektrik

B. Hasil Klasifikasi Kelembapan Tanah

Nilai kelembapan tanah hasil pengolahan dipengaruhi oleh nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan dari pengolahan menggunakan algoritma Dubois (1995) sehingga kemudian hasil kelembapan tanah dikategorikan ke dalam 5 kelas kelembapan yang kemudian disajikan dalam peta Kelembapan Tanah Kabupaten Bandung.

Tabel 2 Klasifikasi Kelembapan Tanah

Kelas Kelembapan	Jenis Kelembapan (Rentang)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sangat Tinggi (80% - 100%)	496,22	0,31797%
2	Tinggi (60% - 80%)	3.829,97	2,45%
3	Sedang (40% - 60%)	27.151,79	17,40%
4	Rendah (20% - 40%)	124.579,06	79,83%
5	Sangat Rendah (0% - 20%)	0,19	0,00012%
Jumlah		156.057,23	100,00



Gambar 4 Hasil Klasifikasi Kelembapan Tanah

Berdasarkan hasil klasifikasi kelembapan tanah yang diperoleh dari pengolahan citra Sentinel-1, diketahui bahwa kelas kelembapan tanah dengan kategori rendah (kelas 4) mendominasi

wilayah kajian dengan luas mencapai 124.579,06 Ha, atau sekitar 79,83% dari total area. Selanjutnya, kategori kelembapan tanah sedang (kelas 3) mencakup area seluas 27.151,79 Ha, atau sekitar 17,40% dari total luas wilayah. Kategori kelembapan tinggi (kelas 2) memiliki cakupan area sebesar 3.829,97 Ha atau 2,45%, sementara kategori sangat tinggi (kelas 1) hanya mencakup 496,22 Ha, atau 0,32% dari total wilayah kajian. Adapun kategori kelembapan sangat tinggi (kelas 5) merupakan kelas dengan luasan paling kecil, yaitu hanya 0,19 Ha, atau sekitar 0,00012% dari keseluruhan area.

Hasil ini menunjukkan variasi nilai konstanta dielektrik dari rendah hingga tinggi. Dalam peta visualisasi kelembapan tanah, area dengan kelembapan rendah divisualisasikan menggunakan gradasi warna merah, sedangkan area dengan kelembapan tinggi divisualisasikan dengan gradasi warna hijau. Hasil kelembapan tanah pada wilayah kajian menunjukkan dominasi kelembapan tanah pada tingkat yang cenderung rendah dengan presentase 79,83% atau sebesar 124.579,06 Ha.

C. Hasil Klasifikasi Kelembapan Tanah menurut Tutupan Lahan

Setiap tutupan lahan menunjukkan dominasi yang berbeda pada tingkat kelembapan tanahnya. Secara umum, pada tutupan lahan badan air didominasi oleh kelembapan tanah di tingkat yang cenderung basah begitu pula dengan tutupan lahan yang bervegetasi maka kelembapan tanah juga akan cenderung tinggi atau basah sedangkan pada tutupan lahan terbangun didominasi tingkat kelembapan tanah yang kering.

Tabel 3 Kelas Kelembapan Tanah Pada Tutupan Lahan Badan Air

Kelas Kelembapan	Jenis Kelembapan (Rentang)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sangat Tinggi (80% - 100%)	373,591	8,70
2	Tinggi (60% - 80%)	2.666,067	62,06
3	Sedang (40% - 60%)	687,719	16,01
4	Rendah (20% - 40%)	568,723	13,24
5	Sangat Rendah (0% -20%)	0,000	0,00
Jumlah		4296,100	100

Pada tutupan lahan badan air, kelembapan tanah didominasi oleh tingkat kelembapan tinggi dengan persentase sebesar 62,06% atau seluas 2.666,067 Ha dari total luas badan air yaitu 4.296,100 Ha. Sementara itu, tingkat kelembapan sedang memiliki persentase sebesar 16,01% (687,719 Ha), diikuti oleh tingkat kelembapan rendah sebesar 13,24% (568,723 Ha). Tingkat kelembapan sangat tinggi hanya mencakup 8,70% (373,591 Ha) dari total luas, sedangkan tingkat kelembapan sangat rendah tidak terdeteksi (0,00%).

Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah badan air ini didominasi oleh tingkat kelembapan tanah yang relatif tinggi, yang secara umum mencerminkan karakteristik lahan basah atau daerah yang sering tergenang air sehingga memiliki kadar air tanah yang besar. Namun terdapat anomali dimana nilai kelembapan yang sangat tinggi hanya menunjukkan presentase 8,70% yaitu seluas 373,592 Ha dari jumlah keseluruhan luas badan air yaitu 4296,100 Ha. Hal ini terjadi menurut (Oh, Y, Kim, K. H., & Zhang, S, 2004) dan (Dubois, 1995) disebabkan beberapa faktor penyebab kesalahan bias atau faktor-faktor lainnya seperti pengaruh pengolahan dan sifat-sifat tanah itu sendiri.

Tabel 4 Kelas Kelembapan Tanah Pada Tutupan Lahan Vegetasi

Kelas Kelembapan	Jenis Kelembapan (Rentang)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sangat Tinggi (80% - 100%)	122,244	0,09%
2	Tinggi (60% - 80%)	1.157,446	0,83%
3	Sedang (40% - 60%)	25.359,468	18,22%
4	Rendah (20% - 40%)	112.572,276	80,86%
5	Sangat Rendah (0% -20%)	0,190	0,00014%
Jumlah		139.211,624	100

Pada tutupan lahan vegetasi, kelembapan tanah didominasi oleh tingkat kelembapan rendah dengan persentase sebesar 80,86% atau seluas 112.572,276 Ha dari total luas vegetasi yaitu 139.211,624 Ha. Kategori kelembapan sedang tercatat sebesar 18,22% (25.359,468 Ha), sedangkan tingkat kelembapan tinggi hanya sebesar 0,83% (1.157,446 Ha) dan sangat tinggi sebesar 0,09% (122,244 Ha). Tingkat kelembapan sangat rendah praktis tidak terdeteksi dengan persentase yang sangat kecil, yaitu 0,00014% (0,190 Ha).

Tidak terdapat anomali signifikan pada tutupan lahan vegetasi ini, berbeda dengan tutupan badan air. Hal ini menunjukkan pola nilai konstanta dielektrik yang stabil dan konsisten dengan karakteristik tutupan vegetasi, di mana mayoritas area berada pada rentang kelembapan rendah hingga sedang. Kondisi ini dapat mencerminkan dominasi vegetasi dengan tingkat penutupan sedang hingga rapat namun dengan kondisi tanah yang relatif kering.

Tabel 5 Kelas Kelembapan Tanah Pada Tutupan Lahan Terbangun

Kelas Kelembapan	Jenis Kelembapan (Rentang)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sangat Tinggi (80% - 100%)	0,138	0,00%
2	Tinggi (60% - 80%)	3,981	0,03%
3	Sedang (40% - 60%)	1.044,973	8,40%
4	Rendah (20% - 40%)	11.384,578	91,56%
5	Sangat Rendah (0% -20%)	0,000	0,00%
Jumlah		12433,670	100

Pada tutupan lahan terbangun, kelembapan tanah didominasi oleh tingkat kelembapan rendah dengan persentase sebesar 91,56% atau seluas 11.384,578 Ha dari total luas tutupan lahan terbangun yaitu 12.433,670 Ha. Selain itu, kategori kelembapan sedang tercatat sebesar 8,40% (1.044,973 Ha). Tingkat kelembapan tinggi hanya sebesar 0,03% (3,981 Ha), sedangkan sangat tinggi terdeteksi dalam luasan yang sangat kecil, yaitu 0,00% (0,138 Ha). Tidak terdapat area dengan kelembapan sangat rendah pada tutupan lahan terbangun ini.

Pada tutupan lahan terbangun ini, terlihat bahwa tingkat kelembapan tanah yang tinggi dan sangat tinggi masih terdeteksi meskipun dalam luasan yang sangat kecil. Kondisi ini mirip dengan pola yang terjadi pada tutupan lahan badan air, yang menunjukkan adanya potensi anomali nilai kelembapan akibat bias pengolahan data, sifat fisik tanah di sekitar area terbangun, atau pengaruh elemen-elemen permukaan keras yang memengaruhi pantulan sinyal radar. Hal ini sesuai dengan penjelasan Oh et al. (2004), yang menyebutkan bahwa hasil estimasi kelembapan tanah berbasis citra radar dapat terpengaruh oleh kondisi lapangan dan karakteristik permukaan, sehingga hasil pengolahan data perlu dievaluasi lebih lanjut agar diperoleh informasi yang lebih akurat.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Tingkat kelembapan tanah di Kabupaten Sumedang secara umum didominasi oleh kategori kelembapan rendah dengan rentang 20%–40%, mencakup area seluas sekitar 124.579,06 hektar atau 79,83% dari total luas wilayah studi sebesar 156.057,23 hektar. Hal ini, berkaitan dengan cuaca atau musim pada saat perekaman citra dilakukan faktor lainnya adalah tutupan lahan pada area perekaman citra juga mempengaruhi tingkat kelembapan tanah yang dihasilkan terdapat juga faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil tingkat kelembapan tanah diluar kajian penelitian ini.
2. Tutupan lahan pada vegetasi, area terbangun, dan badan air menghasilkan dominasi kelembapan tanah yang berbeda, di mana pada jenis tutupan lahan vegetasi, kelembapan tanah yang dihasilkan

didominasi pada tingkat kelembapan rendah atau pada tingkat kelembapan 20% – 40% dengan persentase 80,86% atau seluas 112.572,276 Ha dari total luas tutupan vegetasi yaitu sebesar 139.211,624 Ha. Kemudian pada tutupan lahan badan air, kelembapan tanahnya didominasi oleh tingkat kelembapan tinggi atau pada tingkat kelembapan 60% – 80% dengan luas 2.666,067 Ha atau 62,06% dari jumlah luas tutupan badan air sebesar 4.296,100 Ha. Sedangkan pada tutupan lahan terbangun menunjukkan perbedaan dominasi kelembapan tanah, di mana tingkat kelembapan yang mendominasi pada tutupan lahan terbangun berada pada tingkat rendah atau pada tingkat kelembapan 20% – 40% dengan luas sebesar 11.384,578 Ha atau dengan persentase 91,56% dari total luas tutupan lahan terbangun sebesar 12.433,670 Ha. Dari data yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa kelembapan tanah pada tutupan lahan yang memiliki vegetasi dan badan air memiliki perbedaan signifikan dengan tutupan lahan pada area terbangun.

SARAN

Saran yang dapat diberikan penulis bagi penelitian selanjutnya yaitu:

1. Menggunakan lebih banyak parameter dalam penentuan tingkat kelembapan tanah untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang lebih baik dan akurat.
2. Memperhatikan faktor cuaca dan musim karena kelembapan tanah erat kaitannya dengan faktor cuaca juga musim di area kajian.
3. Membandingkan hasil kelembapan tanah dari citra Sentinel-1 dengan waktu akuisisi yang berbeda guna mengetahui konsistensi perubahan kelembapan secara temporal di wilayah kajian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adil, A. (2017). *Sistem Informasi Geografis*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Ardiansyah, & Kardono. (2017). Sistem Informasi Geografis (SIG) Pemetaan Jaringan Pipa dan Titik Properti Pelanggan di PT AETRA Air Tangerang. *Jurnal Ilmiah FIFO*, 9(1), 81-89.
- Asra, R., Mappiasse, M. F., & Nurnawati, A. A. (2020). Penerapan Model CAMarkov Untuk Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Di Sub-DAS Bila Tahun 2036. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1).
- BPS. (2023). *Kecamatan Tanjungsari Dalam Angka 2023*. Kabupaten Sumedang: Badan Pusat Statistik.
- Breiman, L. (2001). *Random forest*. Handbook of Statistics Department University of California.
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Andi.
- Eastman. (2016). *IDRISI Selva Tutorial*. Worcester: Idrisi Production.
- ESRI. (2016). *Understandin Euclidean Distance Analysis*. California: ESRI.
- Fardani, I. (2020). Landuse change prediction model based on Cellular Automata (CA) method in Bandung City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1469(1).
- Fitriyanto, Rachmat, B., & Helmi, M. (2018). Model Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis dan Cellular Automata Markov Chain: Studi Kasus Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 137-147.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., . . . Hazra, S. (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review." Remote Sensing Applications. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 5, 64-77.
- Harmon, J. E., & Anderson, S. J. (2003). *The design and implementation of geographic information systems*. John Wiley & Sons.
- Irwansyah, E. (2013). *Sistem Informasi Geografis: Prinsip Dasar dan Pengembangan Aplikasi*. Yogyakarta: DigiBook.
- Kustiawan, I., & Ladimananda, A. (2016). Pemodelan Dinamika Perkembangan Perkotaan dan Daya Dukung Lahan di Kawasan Cekungan Bandung. *Tataloka*, 14(2), 98-112.
- Lamonda, R., Hernina, R., Manessa, M. D., & Ristya, Y. (2019). Spatial dynamics model for land carrying capacity prediction in Tangerang Selatan City. *E3S Web of Conferences*, (Vol. 125, p. 01006). EDP Sciences.
- Landoala, T. (2013). Perubahan Pemanfaatan Lahan Kawasan Perkotaan.
- Lisantoyo, L., Supriatna, & Sumadio, W. (2019). Spatial Model of Settlement Expansion and its Suitability to the Landscape in Singkawang City, West Kalimantan Province. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 12034.
- Liu, Y., & He, J. (2009). Developing a web-based cellular automata model for urban growth

- simulation. In International symposium on spatial analysis, spatial-temporal data modeling, and data mining. *In International symposium on spatial analysis, spatial-temporal data modeling, and data mining*, Vol. 7492, pp: 15691576.
- Muhadjir, N. (1998). Metodologi Penelitian Kualitatif Pendekatan Positivistik, Rasionalistik, Phenomenologik, dan Realisme Metaphisik Telaah. *Studi Teks dan Penelitian Agama*.
- Muhsoni, F. F. (2015). *Penginderaan Jauh (Remote Sensing)*. Bangkalan: UTMPRESS.
- Muiz, A. (2009). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sukabumi. *Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB*.
- Nugroho, R. A. (2021). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Markov Chain Dari Data Citra Satelit Landsat (Studi Kasus: Kota Surabaya). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), C71-C77.
- Pratami, M. S. (2019). Modelling cellular automata for the development of settlement area Bengkulu City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311:012073.
- Putri, E. (2021). Pemanfaatan Citra Sentinel-2 Untuk Analisis Vegetasi Di Wilayah Gunung Manglayang. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha 9.2*, 133-143.
- Rijali, A. (2018). Analisis Data Kualitatif. *Jurnal Ilmu Dakwah*, 17(33), 81-95.
- Riswanto, E. (2009). Evaluasi akurasi klasifikasi penutupan lahan menggunakan citra alos palsar resolusi rendah studi kasus di Pulau Kalimantan. *Skripsi, Institut Pertanian Bogor (IPB)*.
- Salakory, M., & Rakuasa, H. (2022). Modeling of Cellular Automata Markov chain for predicting the carrying capacity of Ambon City. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 12(2)*, 372-387.
- Setiadi, D. (2016). Prediksi perubahan lahan pertanian sawah sebagian Kabupaten Klaten dan sekitarnya menggunakan cellular automata dan data penginderaan jauh. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(1), 79437.
- Setyorini, B. (2012). Analisis Kepadatan Penduduk dan Proyeksi Kebutuhan Permukiman Kecamatan Depok Sleman 2010-2015. *Jurnal. Jurusan Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Simamora, F., Bandi, S., & Haniah. (2015). Kajian Metode Segmentasi untuk Identifikasi Tutupan Lahan dan Luas Bidang Tanah Menggunakan Citra pada Google Earth (Studi Kasus : Kecamatan Tembalang, Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 4 (4): 43–51.
- Siswanto. (2007). *Operations Research*. Jakarta: Erlangga.
- SNI 7645. (2010). *Klasifikasi Penutup Lahan*. Jakarta. Indonesi