

Evaluation of Surface Carbon Model Based on GIS and Remote Sensing in Kendari City Working Area

Sri Endayani ^{1,*}, Mahmud ², Andrew Stefano ³

¹ Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda, Jl. Ir. H. Juanda No. 80 Samarinda, Indonesia 75123

² Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Papua, Manokwari – Papua Barat, Indonesia 98314

³ Program Studi Teknologi Geomatika, Jurusan Teknik dan Informatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Indonesia 75131

*corresponding email: nd4.70des@gmail.com

Submitted: 2025-04-13; Accepted: 2025-06-30; Published: 2025-06-30

ABSTRACT

Global climate change and urban ecosystem degradation present major challenges to sustainable city development, especially in rapidly growing urban areas such as Kendari City. One strategic approach to climate mitigation is the spatial monitoring of surface carbon stocks. This study aims to evaluate a model for estimating surface carbon reserves in the Kendari City working area by integrating Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies. Sentinel-2A satellite imagery was used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which was then converted into carbon stock estimates using empirical models. Field data were collected to validate the accuracy of image-based predictions. The results showed a highly varied carbon distribution, with the highest concentrations (up to 203.669 tons of carbon per pixel) found in areas with dense vegetation such as urban forests and green open spaces. Model validation revealed a strong correlation ($R^2 = 0.82$) between estimated and observed values. This confirms that the integration of GIS and remote sensing is a reliable method for surface carbon mapping in urban environments. The spatial information produced in this study is essential for formulating urban spatial planning policies, environmental conservation strategies, and climate change mitigation efforts. The research contributes to evidence-based urban ecological management and supports low-carbon development pathways in Indonesian cities.

Keywords: Carbon Stock; Remote Sensing; GIS; NDVI; Kendari City

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang berdampak langsung terhadap kualitas lingkungan hidup, terutama di kawasan perkotaan yang mengalami percepatan pembangunan (Ahmed et al., 2021; Al-Bahrani et al., 2022; AlHamaydeh et al., 2021). Salah satu strategi mitigasi yang penting dalam konteks ini adalah pelestarian cadangan karbon, baik yang tersimpan di dalam vegetasi maupun pada lapisan permukaan tanah (Aljenaid et al., 2022; Alqahtany, 2023; Bedair et al.,

2022). Cadangan karbon memiliki fungsi vital sebagai penyerap karbon dioksida (CO_2), dan pemantauannya menjadi indikator penting dalam perencanaan tata ruang serta kebijakan pembangunan berkelanjutan (Çetinkaya et al., 2023; Chowdhury & Hafsa, 2022; Chukwuma et al., 2021).

Kota Kendari sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Tenggara tengah menghadapi tekanan tinggi dari urbanisasi dan alih fungsi lahan, yang menyebabkan penurunan tutupan vegetasi dan berpotensi mengurangi kapasitas penyimpanan karbon wilayah (Desalegn &

Mulu, 2021; Dhinsa et al., 2022; Elbeih, 2021). Kondisi ini menuntut adanya upaya pengukuran cadangan karbon secara efisien, akurat, dan spasial untuk menjadi dasar dalam pengambilan keputusan kebijakan lingkungan kota (El-Hadidy & Morsy, 2022; Elboshy et al., 2022; Endayani et al., 2019).

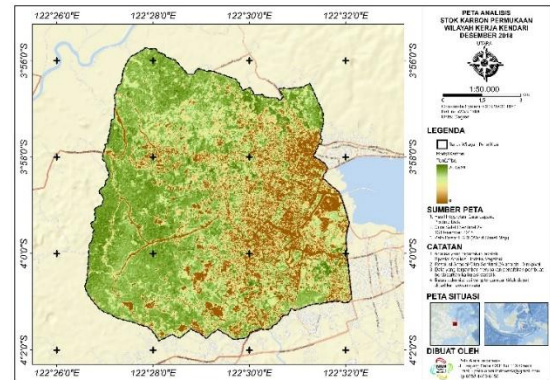
Teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh memberikan peluang besar dalam memetakan dan memantau cadangan karbon secara berkala. Khususnya, penggunaan citra Sentinel-2A dan pendekatan indeks vegetasi (NDVI) memungkinkan estimasi kandungan karbon dengan resolusi tinggi dan cakupan luas (Endayani et al., 2023; Endayani, Sadono, et al., 2022; Endayani, Stefano, et al., 2022). Integrasi metode ini dengan data lapangan dapat menghasilkan peta distribusi karbon yang andal dan informatif (Erdem et al., 2021; Ghoneim et al., 2022; Gupta et al., 2022).

Namun demikian, hingga saat ini belum banyak studi yang secara spesifik mengevaluasi model estimasi cadangan karbon permukaan di kawasan perkotaan tropis seperti Kota Kendari dengan pendekatan geospasial berbasis validasi lapangan (Gürtekin & Gökçe, 2021; Isihak et al., 2022; Khalil et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan tujuan mengevaluasi model estimasi cadangan karbon berbasis NDVI dan SIG yang divalidasi secara empiris melalui pengukuran langsung di lapangan. Hasil dari studi ini diharapkan menjadi kontribusi dalam pengelolaan tata ruang perkotaan yang adaptif terhadap perubahan iklim dan mendukung kebijakan pembangunan rendah karbon.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di wilayah kerja Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan integrasi

metode penginderaan jauh, Sistem Informasi Geografis (SIG), dan pengamatan lapangan untuk mengevaluasi estimasi stok karbon permukaan.



Gambar 1. Peta sebaran lokasi plot ukur Kota Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara

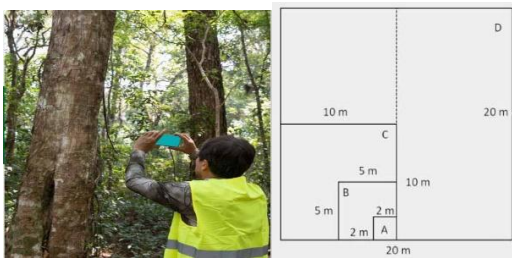
Data dan Sumber

- Citra Satelit: Citra Sentinel-2A tahun 2018 diunduh dari *Copernicus Open Access Hub*, dengan resolusi spasial 10 meter/piksel. Citra ini digunakan untuk menghitung indeks vegetasi (NDVI) sebagai indikator tutupan vegetasi dan proksi biomassa (Kumar et al., 2022; Larkin et al., 2021; S. Li et al., 2022).
- Data Tutupan Lahan: Peta tutupan lahan dari BAPPEDA Kota Kendari digunakan untuk membandingkan hasil klasifikasi NDVI dan mengetahui jenis penggunaan lahan yang dominan, seperti permukiman, ruang terbuka hijau (RTH), hutan kota, dan lahan terbangun (W. Li et al., 2021; H. Liu et al., 2021; Q. Liu et al., 2021).
- Data Lapangan: Data pengukuran biomassa vegetasi diperoleh dari plot ukur (*sample plots*) yang ditempatkan secara sistematis pada zona-zona utama tutupan vegetasi, terutama di kawasan RTH, hutan kota, dan taman (Lumbreras et al., 2022; Massano et al., 2023; Murugesan et al., 2022).

Data ini digunakan sebagai dasar pengujian model stok karbon dari citra (Pepe et al., 2021; Quan & Bansal, 2021; Stefano et al., 2021).

Desain Pengambilan Sampel

Sebanyak 12 plot ukur permanen berukuran 20 m × 20 m ditempatkan di tiga jenis penutup lahan dominan: hutan kota (4 plot), RTH taman kota (4 plot), dan vegetasi campuran permukiman (4 plot) (Taloor et al., 2021; Tamiru & Wagari, 2021; Turek & Stepniak, 2021). Penempatan plot mengikuti prinsip distribusi spasial representatif menggunakan GPS handheld Garmin 60CSx dengan tingkat akurasi horizontal ±3 meter pada kondisi terbuka, dan ±5 meter pada kondisi tertutup vegetasi sedang (Villacreses et al., 2022; Wu et al., 2022; Xiao et al., 2022).



Gambar 2. Pengumpulan data lapangan

Pra-pengolahan dan Perhitungan NDVI

Citra Sentinel-2A dikoreksi secara atmosferik dan geometrik menggunakan perangkat lunak SNAP (*Sentinel Application Platform*) (Yousef et al., 2022; Yudhana et al., 2021; Zhang et al., 2021). NDVI dihitung menggunakan band NIR (Band 8) dan Red (Band 4) dengan rumus standar:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \dots \dots \dots (1)$$

NDVI kemudian diklasifikasikan ke dalam lima kelas tutupan vegetasi: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Villacreses et al., 2022; Wu et al., 2022; Xiao et al., 2022).

Estimasi Biomassa dan Stok Karbon

Estimasi biomassa permukaan dilakukan dengan mengonversi nilai NDVI ke nilai biomassa menggunakan model alometrik empiris dari *Endayani et al. (2019)* yang telah diuji regresinya di kawasan vegetasi tropis perkotaan. Rumus alometrik tersebut menghubungkan NDVI dengan estimasi biomassa kering (ton/ha). Biomassa kemudian dikalikan dengan faktor konversi karbon sebesar 0,47 (IPCC default) untuk memperoleh nilai stok karbon (ton/piksel).

Integrasi SIG dan Pemetaan

Nilai estimasi karbon dari NDVI dikonversi ke format raster, kemudian diintegrasikan dalam perangkat lunak QGIS 3.22 untuk menghasilkan peta spasial stok karbon. Pemetaan dilakukan dengan overlay terhadap data tutupan lahan, jaringan jalan, dan batas administratif kota.

Validasi Model

Validasi dilakukan dengan membandingkan estimasi stok karbon hasil model NDVI dengan hasil pengukuran biomassa di lapangan. Validasi statistik menggunakan analisis regresi linier, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) dan RMSE (Root Mean Square Error) sebagai indikator akurasi.

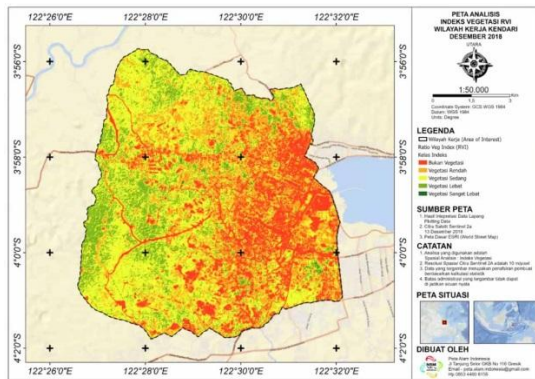
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan Indeks Vegetasi (NDVI)

a) Hasil pengolahan citra Sentinel-2A menunjukkan bahwa nilai NDVI di wilayah kerja Kota Kendari berada dalam rentang -0,05 hingga 0,82. Nilai NDVI tertinggi ditemukan di wilayah dengan tutupan vegetasi lebat seperti hutan kota, taman, dan ruang terbuka hijau, sedangkan nilai terendah terdapat di area permukiman padat, jalan, serta kawasan industri. NDVI diklasifikasikan ke dalam lima kelas tutupan vegetasi, yaitu: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat

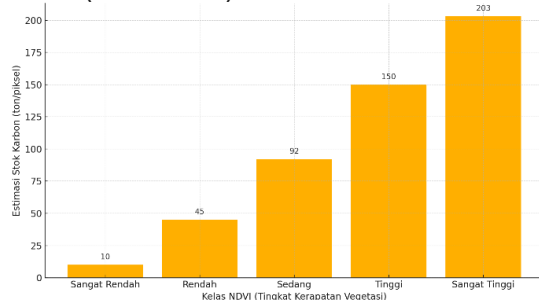
Endayani, S. et al. (2025) "Evaluation of Surface Carbon Model Based on GIS and Remote Sensing in Kendari City Working Area", Jurnal Agriment, 10(1).

tinggi. Peta distribusi NDVI memberikan gambaran awal mengenai potensi penyimpanan karbon berdasarkan kerapatan vegetasi (Gambar 3).



Gambar 3. Peta Estimasi Stok Karbon Permukaan Kota Kendari

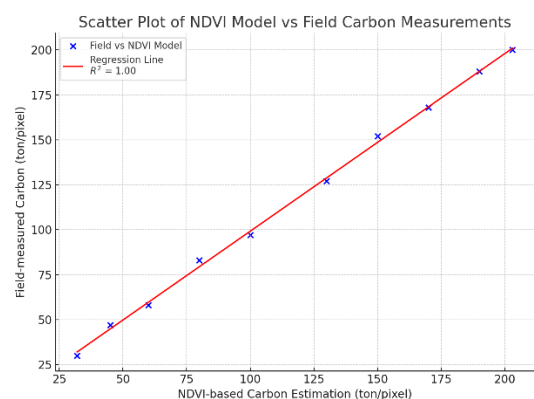
b) Estimasi dan Distribusi Stok Karbon Permukaan. Berdasarkan konversi nilai NDVI ke estimasi stok karbon, diketahui bahwa nilai karbon permukaan di wilayah Kota Kendari bervariasi dari 0 hingga 203,669 ton karbon per piksel (setiap piksel berukuran 10 m x 10 m). Wilayah dengan stok karbon tinggi terkonsentrasi di kawasan dengan vegetasi alami, sedangkan wilayah urban menunjukkan nilai yang sangat rendah. Total estimasi stok karbon dalam seluruh wilayah kerja Kota Kendari mencapai nilai signifikan, mencerminkan pentingnya pelestarian vegetasi kota sebagai penyangga lingkungan (Gambar 4).



Gambar 4. Hubungan antara Kelas NDVI dan Stok Karbon Permukaan

Gambar 4 menunjukkan hubungan klasifikasi NDVI terhadap estimasi stok karbon permukaan. Setiap kelas NDVI yang merepresentasikan tingkat kerapatan vegetasi memiliki nilai estimasi karbon yang berbeda, menunjukkan bahwa nilai NDVI berbanding lurus dengan kandungan karbon. Kelas NDVI "Sangat Tinggi" ($\geq 0,40$), yang umumnya terdapat pada hutan kota dan ruang terbuka hijau, menunjukkan kapasitas simpan karbon tertinggi, yakni 203 ton/piksel. Sebaliknya, pada kelas "Sangat Rendah" ($< 0,10$), yang ditemukan di lahan terbangun dan tanah terbuka, hanya menyimpan sekitar 10 ton/piksel.

Meskipun hubungan ini menunjukkan pola umum yang sesuai dengan karakteristik vegetasi, hubungan antarvariabel NDVI dan karbon perlu dibuktikan lebih kuantitatif. Oleh karena itu, penting untuk menyertakan grafik scatter plot antara stok karbon hasil model NDVI dan stok karbon hasil pengamatan lapangan untuk mengevaluasi keakuratan model secara statistik.



Gambar 5. Scatter Plot antara Stok Karbon NDVI dan Data Lapangan

Gambar 5 memperlihatkan *scatter plot* yang menggambarkan hubungan antara estimasi stok karbon dari model NDVI dan data karbon hasil pengukuran lapangan. Titik-titik pada grafik menunjukkan sebaran nilai pada 12 plot ukur. Hasil analisis menunjukkan hubungan linier positif

dengan koefisien determinasi $R^2=0,82$, yang berarti 82% variasi stok karbon dapat dijelaskan oleh nilai NDVI.

Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat digunakan untuk estimasi stok karbon permukaan pada skala bentang kota.

- c) Validasi Model Estimasi Karbon dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi stok karbon berbasis NDVI dengan data lapangan dari plot pengamatan. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa model memiliki tingkat korelasi yang tinggi ($R^2 = 0,82$) dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang rendah, menandakan bahwa model cukup andal untuk digunakan dalam skala bentang lahan kota. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis citra Sentinel-2A dan NDVI dapat digunakan sebagai metode efisien untuk memantau cadangan karbon secara berkala (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi NDVI dan estimasi stok karbon permukaan

Kelas NDVI	Rentang NDVI	Estimasi Stok Karbon (ton/piksel)	Karakteristik Tutupan Lahan
Sangat Rendah	< 0.10	10	Tanah terbuka, kawasan terbangun
Rendah	0.10 - 0.19	45	Vegetasi jarang, semak belukar
Sedang	0.20 - 0.29	92	Vegetasi sedang, lahan campuran
Tinggi	0.30 - 0.39	150	Vegetasi padat, hutan sekunder
Sangat Tinggi	≥ 0.40	203	Vegetasi sangat padat, hutan kota & RTH

- d) Implikasi Lingkungan dan Kebijakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah-wilayah dengan tutupan vegetasi tinggi berkontribusi besar terhadap stok karbon kota. Oleh karena itu, pelestarian ruang terbuka hijau dan pengendalian alih fungsi

lahan menjadi aspek strategis dalam mitigasi perubahan iklim di Kota Kendari. Informasi spasial yang dihasilkan dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan tata ruang, konservasi lingkungan, serta sebagai dukungan dalam pelaporan emisi karbon daerah (local carbon inventory).

- e) Perbandingan dengan Studi Terdahulu. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa pemanfaatan data satelit untuk estimasi stok karbon sangat efektif, terutama pada wilayah tropis yang kompleks. Dengan resolusi tinggi dan akses data terbuka, Sentinel-2A memberikan keunggulan dalam monitoring karbon dalam konteks lokal hingga regional (Endayani et al., 2019, 2023; Endayani, Sadono, et al., 2022; Endayani, Stefano, et al., 2022).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi model estimasi stok karbon permukaan di wilayah kerja Kota Kendari dengan pendekatan integratif menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan teknologi Sistem berbasis koordinat geografi. Analisis data memperlihatkan keterkaitan erat antara nilai NDVI dan jumlah karbon tersimpan, di mana wilayah dengan vegetasi rapat seperti ruang hijau perkotaan menunjukkan kapasitas simpan karbon yang lebih tinggi dibandingkan daerah terbangun yang minim vegetasi. Estimasi stok karbon berkisar antara 10 hingga 203 ton per piksel, dengan validasi model menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi ($R^2 = 0,82$), membuktikan bahwa metode ini layak digunakan sebagai alat monitoring lingkungan secara efisien dan akurat. Informasi spasial yang dihasilkan memiliki nilai strategis untuk mendukung kebijakan pelestarian lingkungan, tata ruang berbasis ekosistem, serta upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat kota. Penelitian ini merekomendasikan penerapan lebih luas dari metode berbasis NDVI dan GIS dalam pemantauan stok

Endayani, S. et al. .(2025) "Evaluation of Surface Carbon Model Based on GIS and Remote Sensing in Kendari City Working Area", Jurnal Agriment, 10(1).

karbon di wilayah lain, khususnya daerah dengan tekanan urbanisasi tinggi. Pendekatan ini dapat menjadi dasar ilmiah dalam menyusun kebijakan pembangunan berkelanjutan yang berpihak pada kelestarian ekosistem dan keseimbangan karbon wilayah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas dukungan pendanaan melalui program Sertifikasi Dosen (SERDOS), yang turut berkontribusi dalam pelaksanaan kegiatan riset dan pengabdian kepada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, H. G. I., Mohamed, M. H., & Saleh, S. S. (2021). A GIS model for exploring the water pumped storage locations using remote sensing data. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 515–523. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.006>
- Al-Bahrani, H. S., Al-Rammahi, A. H., Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A., & Al-Ansari, N. (2022). Groundwater detection and classification using remote sensing and GIS in Najaf, Iraq. *Groundwater for Sustainable Development*, 19, 100838. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.10.0838>
- AlHamaydeh, M., Al-Shamsi, G., Aly, N., & Ali, T. (2021). Seismic risk quantification and GIS-based seismic risk maps for Dubai-UAE_Dataset. *Data in Brief*, 39, 107566. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.10.7566>
- Aljenaid, S., Abido, M., Redha, G. K., AlKhuzaei, M., Marsan, Y., Khamis, A. Q., Naser, H., AlRumaidh, M., & Alsabbagh, M. (2022). Assessing the spatiotemporal changes, associated carbon stock, and potential emissions of mangroves in Bahrain using GIS and remote sensing data. *Regional Studies in Marine Science*, 52, 102282. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102282>
- Alqahtany, A. (2023). GIS-based assessment of land use for predicting increase in settlements in Al Ahsa Metropolitan Area, Saudi Arabia for the year 2032. *Alexandria Engineering Journal*, 62, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.07.020>
- Bedair, S., Sayed, S. A., & AlMetwaly, W. M. (2022). Enhancing Hybrid Learning using Open Source GIS-Based Maps Archiving System. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(3), 779–793. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.07.003>
- Çetinkaya, C., Erbaş, M., Kabak, M., & Özceylan, E. (2023). A mass vaccination site selection problem: An application of GIS and entropy-based MAUT approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85(May). <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101376>
- Chowdhury, M. S., & Hafsa, B. (2022). Multi-decadal land cover change analysis over Sundarbans Mangrove Forest of Bangladesh: A GIS and remote sensing based approach. *Global Ecology and Conservation*, 37(May), e02151. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02151>
- Chukwuma, E. C., Okonkwo, C. C., Ojedirin, J. O., Anizoba, D. C., Ubah, J. I., & Nwachukwu, C. P. (2021). A Gis Based Flood Vulnerability Modelling Of Anambra State Using An Integrated Ivfrn-Dematel-Anp Model. *Heliyon*, 7(9), e08048. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08048>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- Dhinsa, D., Tamiru, F., & Tadesa, B. (2022). Groundwater potential

- zonation using VES and GIS techniques: A case study of Weserbi Guto catchment in Sululta, Oromia, Ethiopia. *Heliyon*, 8(8), e10245. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10245>
- El-Hadidy, S. M., & Morsy, S. M. (2022). Expected spatio-temporal variation of groundwater deficit by integrating groundwater modeling, remote sensing, and GIS techniques. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(1), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.01.001>
- Elbeih, S. F. (2021). Evaluation of agricultural expansion areas in the Egyptian deserts: A review using remote sensing and GIS. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3P2), 889–906. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.10.004>
- Elboshy, B., Alwetaishi, M., M. H. Aly, R., & Zalhaf, A. S. (2022). A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101618. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.013>
- Endayani, S., Sadono, R., Kusumandari, A., & Hartono. (2019). Social and economic vulnerability in the sub-watershed of Karang mumus, East Kalimantan Province. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 25(2), 93–103. <https://doi.org/10.7226/jtfm.25.2.93>
- Endayani, S., Sadono, R., Kusumandari, A., Hartono, & Baiquni, M. (2022). Horizontal and Vertical Geometric Accuracy of Agisoft Photoscan and Pix4D Mapper Softwares at Kebun Raya Universitas Mulawarman in Samarinda, East Kalimantan, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(5), 2132–2139. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.5.16362>
- Endayani, S., Stefano, A., Fathiah, Hamka, & Lisnawati, A. (2023). Forest Land Change Assessment of Karang Mumus Sub-Watershed Area. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 29(1), 35–44. <https://doi.org/10.7226/jtfm.29.1.35>
- Endayani, S., Stefano, A., Fathiah, Purbawati, & Rosanti, I. (2022). Monitoring Forest Area Change Using Quickbird. *Biotropia*, 29(2), 161–170. <https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.2.1690>
- Erdem, F., Atun, R., Yigit Avdan, Z., Atila, I., & Avdan, U. (2021). Drought analysis of Van Lake Basin with remote sensing and GIS technologies. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1093–1102. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.10.006>
- Ghoneim, S. M., Yehia, M. A., Salem, S. M., & Ali, H. F. (2022). Integrating remote sensing data, GIS analysis and field studies for mapping alteration zones at Wadi Saqia area, central Eastern Desert, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(1), 323–336. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.02.001>
- Gupta, L., Agrawal, N., Dixit, J., & Dutta, S. (2022). A GIS-based assessment of active tectonics from morphometric parameters and geomorphic indices of Assam Region, India. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 8(July 2021), 100115. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2022.100115>
- Gürtekin, E., & Gökçe, O. (2021). Estimation of erosion risk of Harebakayış sub-watershed, Elazığ, Turkey, using GIS based RUSLE model. *Environmental Challenges*, 5(June). <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100315>
- Isihak, S., Akpan, U., & Bhattacharyya, S. (2022). Evolution of GIS-based rural electrification planning models and an application of OnSSET in Nigeria.

- Renewable and Sustainable Energy Transition*, 2(May 2021), 100019. <https://doi.org/10.1016/j.rset.2022.100019>
- Khalil, N., Mhanna, M., & Assaf, E. H. (2021). Horizontal corridor optimization of highway using GIS & CFSC method in mountainous areas. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.008>
- Kumar, M., Singh, P., & Singh, P. (2022). Integrating GIS and remote sensing for delineation of groundwater potential zones in Bundelkhand Region, India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(2), 387–404. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.03.003>
- Larkin, A., Gu, X., Chen, L., & Hystad, P. (2021). Predicting perceptions of the built environment using GIS, satellite and street view image approaches. *Landscape and Urban Planning*, 216, 104257. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104257>
- Li, S., Zhang, M., Yuan, F., Li, X., Wang, C., Long, J., & Jiao, J. (2022). Isotope spatiotemporal analysis and prospecting indication based on GIS in Tibet. *Ore Geology Reviews*, 147(May), 104997. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104997>
- Li, W., Winter, P. L., Milburn, L. A., & Padgett, P. E. (2021). A dual-method approach toward measuring the built environment - sampling optimization, validity, and efficiency of using GIS and virtual auditing. *Health and Place*, 67, 102482. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102482>
- Liu, H., Zhang, Z., Chen, T., Yang, J., Li, Q., & He, D. (2021). Simplified Modelling of Transient Ground Potential Rise of GIS in Ultra-high-voltage Substations with Hybrid Reactive Power Compensation. *Electric Power Systems Research*, 199(51507095), 107441. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107441>
- Liu, Q., Zhai, G., & Lu, X. (2021). Integrated land-sea surveying and mapping of intertidal zone based on high-definition remote sensing images and GIS technology. *Microprocessors and Microsystems*, 82(January), 103937. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.103937>
- Lumbreras, M., Diarce, G., Martin-Escudero, K., Campos-Celador, A., & Larrinaga, P. (2022). Design of district heating networks in built environments using GIS: A case study in Vitoria-Gasteiz, Spain. *Journal of Cleaner Production*, 349(August 2021), 131491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131491>
- Massano, M., Macii, E., Lanzini, A., Patti, E., & Bottaccioli, L. (2023). A GIS Open-Data Co-Simulation Platform for Photovoltaic Integration in Residential Urban Areas. *Engineering*, 26, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.06.020>
- Murugesan, M., Venkatesan, P., Kumar, S., Thangavelu, P., Rose, W., John, J., Castro, M., Manivannan, T., Mohan, V. R., & Rupali, P. (2022). Epidemiological investigation of the COVID-19 outbreak in Vellore district in South India using Geographic Information Surveillance (GIS). *International Journal of Infectious Diseases*, 122, 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2022.07.010>
- Pepe, M., Costantino, D., Alfio, V. S., Restuccia, A. G., & Papalino, N. M. (2021). Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*, 50, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006>
- Quan, S. J., & Bansal, P. (2021). A systematic review of GIS-based local

- climate zone mapping studies. *Building and Environment*, 196(November 2020), 107791. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107791>
- Stefano, A., Endayani, S., & Sadono, R. (2021). Combining the Traditional and Modern Architecture in Taman Samarendah Plan, Samarinda City, East Kalimantan Province, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(2), 705–711. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.2.8341>
- Taloor, A. K., Adimalla, N., & Goswami, A. (2021). Remote Sensing and GIS applications in Geoscience. *Applied Computing and Geosciences*, 11, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2021.100065>
- Tamiru, H., & Wagari, M. (2021). Evaluation of data-driven model and GIS technique performance for identification of Groundwater Potential Zones: A case of Fincha Catchment, Abay Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37(July), 100902. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100902>
- Turek, T., & Stepniak, C. (2021). Areas of integration of GIS technology and smart city tools. Research findings. *Procedia Computer Science*, 192, 4681–4690. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.246>
- Villacreses, G., Martínez-Gómez, J., Jijón, D., & Cordovez, M. (2022). Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation. *Energy Reports*, 8, 3526–3548. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.152>
- Wu, X., Xu, C., Xu, X., Chen, G., Zhu, A., Zhang, L., Yu, G., & Du, K. (2022). A Web-GIS hazards information system of the 2008 Wenchuan Earthquake in China. *Natural Hazards Research*, 2(3), 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.03.003>
- Xiao, Y., Yan, Y., Yu, Y. S., Wang, B., & Liang, Y. H. (2022). Research on pose adaptive correction method of indoor rail mounted inspection robot in GIS Substation. *Energy Reports*, 8, 696–705. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.155>
- Yousef, G. A., Elazony, M. A., Abdelsattar, A., Sewailam, M. M., & Elsaid, O. H. (2022). Applying an integrated Remote Sensing-GIS approach in the documentation of handicraft centers at New Valley Governorate, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(3), 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.04.004>
- Yudhana, A., Sulistyo, D., & Mufandi, I. (2021). GIS-based and Naïve Bayes for nitrogen soil mapping in Lendah, Indonesia. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 33, 100435. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100435>
- Zhang, S., Liu, X., Li, R., Wang, X., Cheng, J., Yang, Q., & Kong, H. (2021). AHP-GIS and MaxEnt for delineation of potential distribution of Arabica coffee plantation under future climate in Yunnan, China. *Ecological Indicators*, 132, 108339. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108339>