

Analisis Spasial Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku

Spatial-Temporal Analysis of Land Cover Changes in Southwest Maluku Regency, Maluku Provinc

Heinrich Rakuasa^{1*}, Daniel Anthoni Sihalale¹

Program studi Pendidikan Geografi FKIP, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

***Corresponding Author**

E-mail: heinrichrakuasa02@gmail.com

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3978-5071>

Info Artikel: Submitted: 13 Oktober 2022 | Revised: 18 November 2022 | Published 30 Desember 2022

Abstrak: Perkembangan lahan terbangun di Kabupaten Maluku Barat Daya (MBD) terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, hal ini dapat dilihat dari analisis perubahan tutupan lahan tahun 2012, 2017 dan 2022. Perkembangan dan perubahan tutupan lahan sangat penting untuk dipahami, agar pola perubahan tutupan lahan di masa depan dapat diprediksi dan dampak negatifnya dapat dicegah atau dikurangi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan Kabupaten Maluku Barat tahun. Analisis perubahan tutupan lahan di Kabupaten. Maluku Barat Daya dilakukan dengan pengolahan citra Landsat 4-5 TM, Landsat 8 OLI dan Citra SPOT 7 terdiri dari proses pre-processing dan klasifikasi tutupan lahan yang mengacu pada SNI 7645:2010. Hasil penelitian menunjukkan, secara umum lahan terbangun di MBD terpusat pada Kecamatan Moa Lakor, Kecamatan Pulau Letti dan Kecamatan Pulau pulau Terselatan. Kelurahan Tiakur merupakan daerah yang mengalami perkembangan lahan terbangun yang paling pesat di MBD, dikarenakan Tiakur merupakan ibukota Kabupaten Maluku Barat Daya.

Kata Kunci: Analisis Spasial, Tutupan Lahan, Kabupaten Maluku Barat Daya

Abstract: *The development of built-up land in Maluku Barat Daya Regency (MBD) continues to increase every year, this can be seen from the analysis of land cover changes in 2012, 2017 and 2022. The development and change of land cover is very important to understand, so that the pattern of land cover change in the future the future is predictable and its negative impacts can be prevented or reduced. This study aims to analyze changes in land cover in West Maluku Regency. Analysis of land cover change in the district. Southwest Maluku was carried out by processing Landsat 4-5 TM images, Landsat 8 OLI and SPOT 7 images consisting of a pre-processing process and land cover classification referring to SNI 7645:2010. The results showed that in general the built-up land in MBD was centered in Moa Lakor District, Pulau Letti District and Pulau Terselatan District. Tiakur Village is an area that is experiencing the fastest development of built-up land in MBD, because Tiakur is the capital of Maluku Barat Daya Regency.*

Keywords: *Spatial Analysis, Land Cover, Southwestern Maluku District*

Panduan Sitasi: Rakuasa, H., Sihalale, D. A. (2022). Analisis Spasial Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. *GEOFORUM Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi*, 1 (2), 96-110. <https://doi.org/10.30598/geoforumvol1iss2pp96-110>

PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan sangat berpengaruh signifikan terhadap perencanaan pengembangan wilayah dan juga terhadap fungsi ekosistem di semua skala spasial, dari global hingga local (Sugandhi et al., 2022), oleh sebab itu penting untuk memahami hubungan antara fenomena sosial dan alam, terutama di wilayah perkotaan untuk meningkatkan keberlanjutan lanskap yang dinamis dan untuk memprediksi efek perencanaan penggunaan lahan (Salakory & Rakuasa, 2022). Deteksi perubahan lahan merupakan langkah integral dalam memantau pertumbuhan fisik suatu wilayah (Liaqat et al., 2021) tutupan lahan sebagai wujud dari proses interaksi yang dinamis antara aktivitas manusia dengan sumberdaya lahan yang terdistribusi secara spasial dari permukaan darat dan mengidentifikasi penutup biofisik dari medan, ini termasuk air daratan, lahan kosong atau infrastruktur manusia (Kovyazin et al., 2020).

Perubahan tutupan lahan adalah cerminan dari transformasi dan hubungan umpan balik antara manusia dan lingkungan alam. Evolusi dinamis penggunaan lahan melibatkan faktor alam, manusia, ekonomi, dan kebijakan yang bertindak secara sintesis pada skala spasial dan temporal yang berbeda (Mosammam et al., 2017). Oleh karena itu, Pemahaman rinci tentang dinamika spatiotemporal dan karakteristik penggunaan lahan regional sangat penting dalam menjaga pembangunan berkelanjutan regional dan mengatur aktivitas manusia kedepannya.

Teknologi penginderaan jauh merupakan alat yang andal untuk memantau dan mempelajari perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan perkotaan (Toure et al., 2018) dalam dekade terakhir, topik penelitian tentang deteksi perubahan fitur permukaan bumi, termasuk perubahan wilayah pesisir semakin meningkat (D. Liu et al., 2020), berkat teknologi penginderaan jauh tercanggih yang menawarkan citra satelit multi-temporal dan resolusi tinggi sebagai salah satu sumber data utama untuk mengkarakterisasi perubahan lingkungan

Kondisi ini menjadi suatu permasalahan wilayah akibat tuntutan kebutuhan lahan dan keterbatasan lahan serta perlu dikaji untuk dapat memberikan solusi dalam penataan penggunaan lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya ke depan yang sustainable berdasarkan aspek ekologis serta

upaya-upaya konservatif guna mendukung perencanaan penggunaan lahan serta pengalokasian penggunaan lahan yang tepat di samping melakukan kegiatan konservatif sebagai upaya preventif dalam penggunaan lahan yang berbasis ekologis.

Kabupaten Maluku Barat Daya merupakan salah satu kabupaten terluar di Provinsi Maluku dan juga merupakan daerah yang terus mengalami peningkatan jumlah penduduk. Peningkatan jumlah penduduk sejalan dengan Peningkatan kegiatan manusia diberbagai sektor terutama sektor ekonomi, sehingga kebutuhan akan sumberdaya lahan juga akan meningkat, sedangkan keberadaan lahan yang tetap (Salakory & Rakuasa, 2022). Hal ini akan menyebabkan meningkatnya persaingan dalam penggunaan lahan, sehingga kebutuhan ekonomi dan sosial akan selalu menjadi prioritas dalam perubahan penggunaan lahan. Oleh karena itu, pemanfaatan dan efisiensi tutupan lahan perkotaan harus ditingkatkan berdasarkan perencanaan tutupan lahan yang rasional dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (Wang et al., 2021), sehingga perlu adanya peningkatan dan pengelolaan potensi pengembangan wilayah berdasarkan Rencana Tata Ruang (RTRW) yang ada.

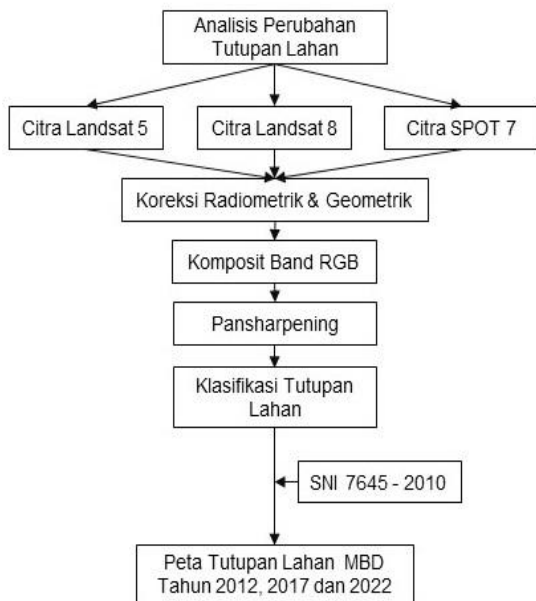
Penelitian tentang perubahan tutupan lahan merupakan sebuah langkah awal dalam pengelolaan dan keberlanjutan lahan ke depan, penelitian ini juga dapat memfasilitasi pemerintah/stakeholder dan para pemangku kepentingan dalam penanganan dan pengelolaan lahan secara bijaksana agar dapat diambil keputusan pemanfaatan lahan yang menguntungkan dalam dimensi perencanaan penggunaan lahan yang berkelanjutan seiring dengan pengembangan Kabupaten Maluku Barat Daya di masa yang akan datang

Berdasarkan uraian diatas, menyadari begitu pentingnya lahan serta penggunaannya maka penulis tertarik untuk meneliti tentang perubahan spasial tutupan lahan dari tahun 2012, 2017 dan 2022 di Kabupaten Maluku Barat Daya yang merupakan langkah awal dalam pengelolaan dan keberlanjutan lahan ke depan, penelitian ini juga dapat memfasilitasi pemerintah/stakeholder dan para pemangku kepentingan dalam penanganan dan pengelolaan lahan secara bijaksana agar dapat

diambil keputusan pemanfaatan lahan yang menguntungkan dalam dimensi perencanaan penggunaan lahan yang berkelanjutan seiring dengan pengembangan wilayah di Kabupaten Maluku Barat Daya di masa yang akan datang.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah peta RBI skala 1:50.000 dan data hasil ekstraksi informasi tutupan lahan dari citra Landsat 5 tahun (2012), citra Landsat 8 OLI tahun (2017) dan citra SPOT 7 tahun (2022). Pemilihan penggunaan data ini dilakukan berdasarkan ketersediaan data di lokasi penelitian, selain itu alasan peneliti menggunakan data citra landsat 5 ditahun 2010 dikarenakan di tahun 2010 belum tersedia citra landsat 8 dan alasan peneliti menggunakan citra SPOT 7 ditahun 2020 dikarenakan citra landsat 5 maupun citra landsat 8 banyak yang tertutup awan, hal ini tentu akan mempersulit peneliti dalam melakukan analisis perubahan tutupan lahan.



Gambar 1. Alur Kerja

Pengolahan citra Landsat 4-5 TM, Landsat 8 OLI dan citra SPOT 7 terdiri dari proses pre-processing dan klasifikasi tutupan lahan. Data tutupan lahan diklasifikasi menjadi 5 kelas untuk skala kabupaten/kota berdasarkan klasifikasi SNI 7645 - 2010 mengenai Klasifikasi Penutup Lahan yang terdiri 5 kelas yang terdiri dari: lahan terbangun, hutan, semak dan tegalan, lahan

terbuka dan badan air (Badan Standarisasi Nasional, 2010). Pengolahan data ini dimaksudkan untuk melihat perubahan lahan yang terjadi dari tahun 2010-2020 di Kabupaten Maluku Barat Daya, alur kerja alur kerja tutupan lahan dari citra Landsat 5, citra Landsat 8 OLI dan citra SPOT 7 dapat dilihat pada Gambar 1. dibawah ini

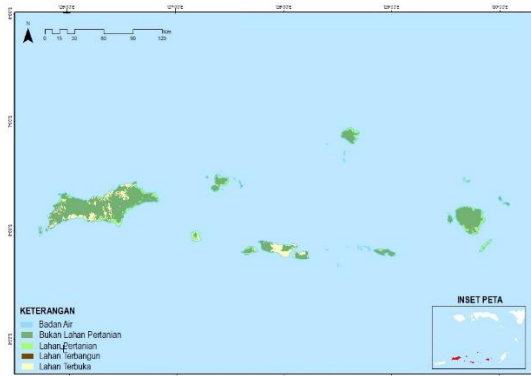
Gambar 1 menjelaskan bahwa untuk dapat melihat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya, langkah awal yang harus dipersiapkan adalah pengumpulan data primer yaitu citra satelit yang akan nantinya digunakan, setelah itu data citra satelit tersebut dikoreksi baik radiometriknya maupun geometriknya. Setelah itu dilakukan Komposit band RGB dan pansharpening untuk memperjelas peneliti dalam melakukan Interpretasi dan digitasi untuk mengklasifikasi tutupan lahan Kabupaten Maluku Barat Daya tahun 2012, 2017 dan 2022 berdasarkan SNI 7645 – 2010. Klasifikasi tutupan lahan dibagi menjadi 5 kelas diantaranya lahan terbangun, lahan terbuka, lahan pertanian, bukan lahan pertanian dan badan air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan tutupan lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya diperoleh dari hasil pengolahan citra satelit resolusi tinggi Kabupaten Maluku Barat Daya tahun 2012, 2017 dan 2022 yang divalidasi dengan observasi lapangan. Hasil digitasi dan Interpretasi menjadi dasar untuk melihat perkembangan tutupan lahan di Kota Ambon selama 15 tahun terakhir. Analisis yang dilakukan untuk melihat perkembangan tutupan lahan ini yaitu secara spasial, tabular, dan deskriptif.

1. Tutupan Lahan Kota Ambon Tahun 2012

Citra satelit yang digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan tahun 2012, yaitu Landsat 5 wilayah Kabupaten Maluku Barat Daya yang direkam pada bulan Agustus tahun 2012. Interpretasi citra Landsat 5 dalam penelitian ini dilakukan secara visual dengan cara mendelineasi atau digitasi *on screen* dengan menggunakan software ArcGIS 10.8.

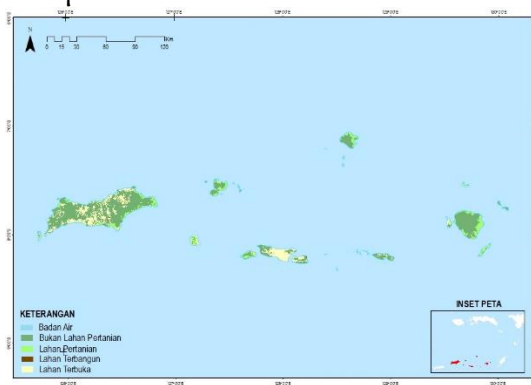


Gambar 2. Tutupan Lahan Tahun 2012

Digitasi tutupan lahan dilakukan dengan mengacu pada peta tutupan lahan tahun 2012 dari KLHK. Tutupan lahan Kabupaten Maluku Barat Daya dapat dilihat pada Gambar 2. Tutupan lahan pada tahun 2012 di dominasi oleh tutupan lahan bukan lahan pertanian yaitu sebesar 323.079,51 ha dan badan air merupakan tutupan lahan yang paling sedikit sebesar 1.199,32 ha dan total luasan tutupan lahan terbangun sebesar 2.070,80 ha. Secara keseluruhan tabel luasan tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 1.

2. Tutupan Lahan Tahun 2017

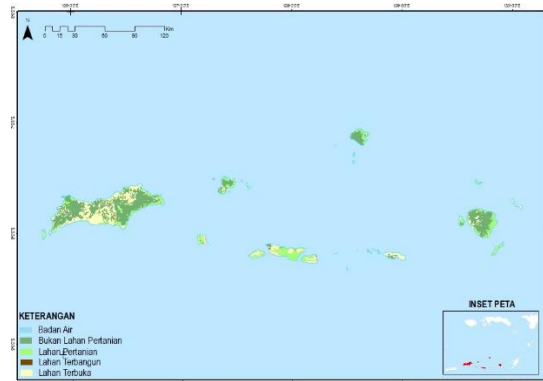
Berdasarkan komposisi kelas tutupan lahan Kabupaten Maluku Barat 2017 pada Gambar 3 Tutupan lahan pada tahun 2017 di dominasi oleh tutupan lahan bukan lahan pertanian yaitu sebesar 323079,51 ha dan badan air merupakan tutupan lahan yang paling sedikit sebesar 1199,32 ha dan total luasan tutupan lahan terbangun sebesar 2070,80 ha. Secara keseluruhan tabel luasan tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Tutupan Lahan Tahun 2017

3. Tutupan Lahan Tahun 2020

Pada Tahun 2022 tutupan lahan masih di dominasi oleh tutupan lahan bukan lahan pertanian yaitu sebesar 208.192,81 ha dan badan air merupakan tutupan lahan yang paling sedikit sebesar 1.168,04 ha dan total luasan tutupan lahan terbangun sebesar 5.509,78 ha. Secara spasial tutupan lahan Kabupaten Maluku Barat Daya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tutupan Lahan Tahun 2022

4. Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2012-2022

Perubahan tutupan lahan dari suatu penggunaan tertentu menjadi penggunaan lahan yang lain dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup manusia merupakan suatu manivestasi dari perubahan tutupan lahan (Nath et al., 2021). Perubahan tutupan lahan dapat dikatakan pula sebagai beralihnya tutupan lahan yang satu menjadi tutupan lahan yang lain yang berhubungan langsung maupun tidak langsung dengan tujuan manusia dalam upaya pemenuhan kebutuhan hidupnya (Darvishi et al., 2020). Perubahan tutupan lahan Kota Ambon periode 2012-2021 menunjukkan peningkatan pada jenis tutupan lahan permukiman dan lahan terbuka, sedangkan jenis tutupan lahan pertanian dan tutupan lahan daerah bukan pertanian mengalami penurunan luasan. Hal ini diperjelas dengan Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Tutupan Lahan Kabupaten. Maluku Barat Daya tahun 2010-2022

Tutupan Lahan	Luas (ha)		
	2010	2015	2020
Badan Air	1.298,32	1.298,32	1.298,32
Bukan Lahan Pertanian	371.060,60	323.079,51	208.192,81
Lahan Pertanian	58.763,52	43.105,75	32.712,83
Lahan Terbuka	22.241,43	85.224,67	137.851,21
Lahan Terbangun	2.070,80	2.825,41	7.509,78
Total		455.434,67	

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa Klasifikasi kelas penutupan lahan Kabupaten. Maluku Barat Daya terdiri dari badan air, bukan lahan pertanian, lahan pertanian, lahan terbuka, lahan terbuka dan lahan terbangun. Dari tahun 2012-2022 penutupan lahan masih di dominasi oleh lahan bukan lahan pertanian dan lahan pertanian. Perubahan penutupan lahan terjadi paling besar pada kelas bukan lahan pertanian dengan luas sebesar 371.060,60 Ha di Tahun 2010 dan 208.192,81 Ha di Tahun 2022. Kelas lahan terbangun mengalami perkembangan luasan yang cukup pesat yaitu 2070,80 Ha di Tahun 2012 terus berkembang sampai tahun 2022 dengan total luasnya yaitu 7.509,78 ha.

Pola perkembangan lahan terbangun di Kabupaten Maluku Barat Daya pada umumnya mengikuti garis pantai hal dikarenakan Sebagian besar mata pencaharian penduduk MBD yaitu nelayan, hal ini diperkuat oleh pendapat dari [MacDonald \(2005\)](#) dalam artikelnya yang berjudul *How Women Were Affected by the Tsunami: A Perspective from Oxfam* ia menjelaskan bahwa wilayah pesisir merupakan wilayah tempat aktivitas manusia paling banyak dilakukan, sekitar 70% penduduk dunia tinggal di wilayah pesisir, sehingga menjadikan kawasan ini terkonsentrasi berbagai pusat kegiatan ekonomi seperti perikanan, pariwisata, perhubungan, perindustrian, pemukiman,

pertahanan dan [keamanan \(MacDonald, 2005; Luo et al., 2018\)](#).

Perkembangan lahan terbangun secara signifikan terjadi di Kel.Tiakur yang secara administrasi merupakan ibukota Kabupaten Maluku Barat Daya. Status Tiakur sebagai ibukota Kabupaten Maluku Barat Daya dan juga sebagai sentral dari kegiatan ekonomi, industri, pendidikan serta pemerintahan menyebabkan meningkatnya persaingan dalam penggunaan lahan, sehingga kebutuhan ekonomi dan sosial akan selalu menjadi prioritas dalam perubahan penggunaan lahan. Oleh karena itu, pemanfaatan dan efisiensi tutupan lahan perkotaan harus ditingkatkan berdasarkan perencanaan tutupan lahan yang rasional dengan tujuan pembangunan berkelanjutan ([Sun et al., 2022](#)). sehingga perlu adanya peningkatan dan pengelolaan potensi pengembangan wilayah ([Mohamed & Worku, 2019](#)). Karena salah satu kunci pembangunan berkelanjutan di kawasan perkotaan adalah perencanaan dan penataan ruang yang sesuai dengan regulasi yang sudah dibuat ([Y. Liu, 2020](#)). Perkembangan lahan terbangun di Tiakur pada tahun 2012 dan 2022 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perkembangan Lahan Terbangun di Tiakur

KESIMPULAN

Berdasarkan luas lahan terbangun pada tahun 2012, 2017, dan 2022, dapat disimpulkan bahwa laju perkembangan lahan terbangun di Kabupaten Maluku Barat Daya terus mengalami peningkatan yang sangat pesat hal ini didasarkan pada peningkatan jumlah penduduk yang mempengaruhi peningkatan akan lahan permukiman. Oleh karena itu, pemanfaatan dan efisiensi tutupan lahan harus ditingkatkan berdasarkan perencanaan tutupan lahan yang rasional dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2010). *SN 7645-2010 tentang klasifikasi penutup lahan*.
- Darvishi, A., Yousefi, M., & Marull, J. (2020). Modelling landscape ecological assessments of land use and cover change scenarios. Application to the Bojnourd Metropolitan Area (NE Iran). *Land Use Policy*, 99, 105098. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105098>
- Kovyazin, V. F., Romanchikov, A. Y., Anh, D. T. L., Hung, D. V., & Hung, V. Van. (2020). Predicting Forest Land Cover Changes in Ba Be National Park of Vietnam. *{IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science*, 574, 12038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012038>
- Lasaiba, M. A., & Arfa, H. (2022). Spatial Distribution Of The Earthquake Episentrum Based On Geographic Information System (Gis) On Ambon Island. *Jurnal Tunas Geografi*, 11(1), 37–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.24114/tgeo.v11i1.34931>
- Lasaiba, M. A., & Saud, A. W. (2022). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Oli/Tirs Untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Menggunakan Metode Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) Di Kota Ambon. *JURNAL GEOGRAFI. Geografi Dan Pengajarannya*, 20(1), 53–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/jggp.v20n1.p53-65>
- Liaqat, M. U., Mohamed, M. M., Chowdhury, R., Elmahdy, S. I., Khan, Q., & Ansari, R. (2021). Impact of land use/land cover changes on groundwater resources in Al Ain region of the United Arab Emirates using remote sensing and GIS techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100587. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100587>
- Liu, D., Zheng, X., & Wang, H. (2020). Land-use Simulation and Decision-Support system (LandSDS): Seamlessly integrating system dynamics, agent-based model, and cellular automata. *Ecological Modelling*, 417, 108924. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108924>
- Liu, Y. (2020). Sustainable Development in

- Urban Areas: Contributions from Generalized Trade. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102312>
- Luo, J., Xing, X., Wu, Y., Zhang, W., & Chen, R. S. (2018). Spatio-temporal analysis on built-up land expansion and population growth in the Yangtze River Delta Region, China: From a coordination perspective. *Applied Geography*, 96, 98–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.05.012>
- MacDonald, R. (2005). How Women Were Affected by the Tsunami: A Perspective from Oxfam. *PLoS Medicine*, 2(6), e178. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020178>
- Mohamed, A., & Worku, H. (2019). Quantification of the land use/land cover dynamics and the degree of urban growth goodness for sustainable urban land use planning in Addis Ababa and the surrounding Oromia special zone. *Journal of Urban Management*, 8(1), 145–158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.11.002>
- Mosammam, H. M., Nia, J. T., Khani, H., Teymouri, A., & Kazemi, M. (2017). Monitoring land use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms: The case of Qom city. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 103–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.08.002>
- Nath, B., Ni-Meister, W., & Choudhury, R. (2021). Impact of urbanization on land use and land cover change in Guwahati city, India and its implication on declining groundwater level. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100500. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100500>
- 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 (JPSSL)*, 12(2), 372–387. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/jpsl.12.2.372-387>
- Sugandhi, N., Supriatna, S., Kusratmoko, E., & Rakuasa, H. (2022). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan Cellular Automata-Markov Chain. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*, 9(2), 104–118. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v9i2.13880>
- Sun, X., Wu, J., Tang, H., & Yang, P. (2022). An urban hierarchy-based approach integrating ecosystem services into multiscale sustainable land use planning: The case of China. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106097. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106097>
- Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H., Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 210, 259–268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023>
- Wang, S. W., Munkhnasan, L., & Lee, W.-K. (2021). Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges*, 2, 100017. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100017>