

Analisis Spasial Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Pulau Ternate Provinsi Maluku Utara Citra Satelit Resolusi Tinggi

Philia Christi Latue

Faculty of Biology, Department of Biology, Herzen University, Saint Petersburg, Russian Federation

KATA KUNCI

Analisis Spasial; Ternate; Tutupan Lahan

KORESPONDENSI

Phone: +7 999 537 03 21

E-mail: philiatue04@gmail.com

A B S T R A K

Pertambahan jumlah penduduk yang semakin bertambah, tentunya berpengaruh terhadap kebutuhan dan ketersediaan lahan di Pulau Ternate. Dengan menggunakan citra satelit resolusi tinggi dapat mengidentifikasi dan menganalisis perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate dengan detail. Penelitian ini menggunakan data Worldview -2 tahun 2013 dan 2023 untuk analisis tutupan lahan tahun 2013 dan 2023 dengan mengacu pada standar klasifikasi tutupan lahan berdasarkan SNI-2010 yang dilakukan dengan interpolasi dan digitasi yang dilakukan secara visual di software Arc GIS 10.8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan terbangun di Pulau Ternate mengalami pertambahan luasan pada periode 2013-2023. Pada tahun 2013 presentase luasan lahan terbangun di Pulau Ternate sebesar 15.19 % dan terus mengalami pertambahan luasan di tahun 2023 sebesar 19.69% dari total luasan Pulau Ternate. Berbeda dengan kelas tutupan lahan lainnya yang mengalami penurunan luasan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi informasi bagi pemerintah dan masyarakat di Pulau Ternate dalam upaya penataan ruang kedepannya di kedepannya.

PENDAHULUAN

Pulau Ternate yang terletak di Provinsi Maluku Utara Indonesia merupakan salah satu pulau yang memiliki potensi perkembangan ekonomi dan pertumbuhan populasi yang pesat (Rakuasa & Pakniany 2022). Perkembangan ekonomi dan pertumbuhan populasi ini berdampak langsung pada perubahan penggunaan lahan di pulau ini. Perkembangan ekonomi dan urbanisasi di Pulau Ternate dapat menyebabkan deforestasi, perluasan lahan pertanian, dan perubahan lainnya yang dapat berdampak signifikan pada lingkungan dan ekosistem pulau (Umanailo et al., 2017; Latue et al., 2023).

Pulau Ternate memiliki ekosistem hutan yang kaya dengan keanekaragaman hayati yang tinggi. Namun, deforestasi yang disebabkan oleh penebangan ilegal, konversi hutan menjadi lahan pertanian, dan ekspansi pemukiman telah menyebabkan kerusakan signifikan pada hutan alam pulau ini. Deforestasi berdampak negatif pada keanekaragaman hayati dan menyebabkan hilangnya habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna endemik. Permintaan akan lahan pertanian untuk memenuhi kebutuhan makanan dan bahan baku industri telah mendorong perluasan lahan pertanian di Pulau Ternate (Achmadi et al., 2023). Proses konversi lahan ini mengubah sebagian besar wilayah hutan dan ekosistem alam menjadi lahan pertanian monokultur, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah dan kerusakan lingkungan (Mosammam et al. 2017; Rakuasa 2022). Perubahan tutupan lahan yang cepat dan tanpa perencanaan yang matang dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem (Septory et al., 2023). Misalnya, deforestasi dapat menyebabkan erosi tanah yang meningkat, banjir, dan perubahan pola curah hujan. Perubahan ini dapat berdampak negatif pada kehidupan manusia dan hewan, serta pada sumber daya air dan pertanian (Latue & Rakuasa 2023).

Fenomena perubahan tutupan lahan yang terjadi karena pengaruh faktor politik / kebijakan dan sosial-ekonomi sehingga menyebabkan degradasi tanah dan air yang berdampak bagi ekosistem, keanekaragaman hayati, hingga perubahan iklim

dapat dimodelkan melalui pemodelan perubahan tutupan lahan (Sugandhi et al., 2022). Perkembangan ekonomi yang cepat juga dapat menyebabkan perubahan penggunaan lahan sehingga menghasilkan variasi kontras dari berbagai kelas penggunaan lahan dan tutupan lahan yang dapat diidentifikasi melalui peta penutup lahan (Mosammam et al., 2017). Perubahan tutupan lahan dapat melibatkan konversi kelas lahan seperti konversi dari tutupan lahan hutan menjadi penggunaan lahan pertanian atau transisi dari hutan menjadi permukiman (Wang et al., 2021). Fenomena perubahan tersebut dilihat dalam periodewaktu tertentu hingga prediksi perubahan di masa depan (Khan et al., 2022).

Untuk menghadapi tantangan perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate, diperlukan pemantauan dan analisis yang cermat. Data dan informasi yang tepat waktu tentang perubahan tutupan lahan akan membantu pihak berwenang dan pemangku kepentingan untuk mengambil langkah-langkah pencegahan, konservasi, dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan (Rakuasa et al., 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan citra satelit resolusi tinggi untuk analisis perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate menjadi sangat relevan dan penting. Citra satelit resolusi tinggi adalah gambar dari permukaan bumi yang diambil oleh satelit dengan kemampuan resolusi tinggi, yang dapat mencapai hingga beberapa meter. Kemampuan resolusi yang tinggi ini memungkinkan pengamatan dan analisis detil tentang berbagai fenomena dan perubahan yang terjadi di bumi, termasuk perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate. Teknologi ini mampu memberikan gambaran yang mendetail tentang perubahan yang terjadi dari waktu ke waktu, mengidentifikasi lokasi dan luas perubahan, serta membantu merumuskan kebijakan dan strategi untuk pelestarian lingkungan dan keberlanjutan pulau ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Spasial

Analisis Spasial adalah proses pengolahan, pemodelan, dan interpretasi data yang berkaitan dengan lokasi geografis atau spasial pada permukaan bumi (Franch-Pardo et al., 2020). Tujuan utama dari analisis spasial adalah untuk memahami dan mengeksplorasi hubungan geografis antara objek, fenomena, atau entitas yang terdapat di dalam suatu wilayah geografis (Rakuasa & Latue, 2023). Analisis spasial melibatkan penggunaan berbagai metode dan teknik yang digunakan untuk memproses data geografis, seperti citra satelit, peta, atau data vektor lainnya. Teknik analisis spasial dapat berupa analisis overlay, buffering, interpolasi, klasifikasi, penghitungan jarak, dan lain-lain.

Analisis Spasial perubahan tutupan lahan adalah proses penggunaan teknik dan metode analisis spasial untuk memahami dan mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada tutupan lahan di suatu wilayah geografis dari waktu ke waktu (Latue & Rakuasa, 2023). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi pola, tren, dan dampak perubahan tutupan lahan tersebut serta untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan. Analisis spasial perubahan tutupan lahan sangat penting dalam pemantauan lingkungan dan upaya pelestarian keberlanjutan lingkungan. Dengan menggunakan teknologi citra satelit resolusi tinggi dan metode analisis spasial yang canggih, para ahli dan pemangku kepentingan dapat mengidentifikasi tren perubahan, mengenali tantangan lingkungan, dan merumuskan strategi penanganan yang tepat untuk memastikan keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem di wilayah tersebut.

Citra Satelit Resolusi Tinggi

Citra Satelit Resolusi Tinggi adalah gambar atau foto dari permukaan bumi yang diambil oleh satelit dengan kemampuan resolusi yang sangat tinggi (Dadrass Javan et al., 2021). Resolusi tinggi pada citra satelit mengacu pada kemampuannya untuk menampilkan detail yang sangat halus dan tajam dari objek-objek di permukaan bumi. Citra dengan resolusi tinggi ini mampu menangkap objek-objek kecil, seperti bangunan, kendaraan, vegetasi, atau bahkan fitur geografis kecil, yang tidak dapat diidentifikasi dengan jelas pada citra satelit resolusi rendah. (Burke et al., 2021) Teknologi citra satelit resolusi tinggi telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan kemajuan teknologi satelit dan sensor. Citra satelit resolusi tinggi biasanya diambil oleh satelit dengan sensor optik yang canggih, seperti kamera multispektral atau kamera pankromatik, yang mampu menghasilkan gambar dengan tingkat detil yang tinggi (Stoian et al., 2019). Pemanfaatan citra satelit resolusi tinggi sangat luas, termasuk dalam berbagai bidang seperti pemantauan lingkungan, manajemen sumber daya alam, pemetaan, analisis perubahan lahan,

pemantauan bencana alam, keamanan, serta berbagai aplikasi dalam ilmu pengetahuan dan penelitian (Suharyo & Hidayah, 2019).

Dalam konteks analisis perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate, pemanfaatan citra satelit resolusi tinggi sangat berharga karena dapat memberikan informasi yang mendalam dan akurat tentang perubahan yang terjadi pada ekosistem dan lahan di pulau ini. Dengan resolusi tinggi, perubahan tutupan lahan seperti deforestasi, perluasan lahan pertanian, dan urbanisasi dapat diidentifikasi dan dipantau secara lebih tepat sasaran, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang berbasis data dalam upaya pelestarian lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan di Pulau Ternate.

Tutupan Lahan

Tutupan lahan (*land cover*) adalah perwujudan fisik (kenampakan visual) dari vegetasi, benda alami, dan unsur-unsur budaya yang ada dipermukaan bumi tanpa memperlakukan kegiatan manusia pada objek tersebut (Rakuasa et al., 2022). Tutupan lahan mencakup segala jenis penutup permukaan bumi seperti hutan, lahan pertanian, padang rumput, permukiman, tambang, perairan, dan sebagainya. Dengan memahami tutupan lahan, kita dapat memahami pola dan tren penggunaan lahan dan dampaknya pada ekosistem, iklim, dan manusia (Talukdar et al., 2020). Pemantauan tutupan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi pemetaan dan penginderaan jauh, seperti citra satelit, drone, atau pesawat udara (Mansour et al., 2020). Data tutupan lahan yang akurat dan mutakhir sangat penting dalam pengambilan keputusan yang tepat dalam perencanaan

Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan adalah bertambahnya suatu tutupan lahan dari satu tutupan ke tutupan lainnya diikuti dengan berkurangnya tipe tutupan lahan yang lain dari waktu ke waktu, atau berubahnya fungsi suatu lahan pada kurun waktu yang berbeda (Fitriana et al., 2021; Latue et al., 2023). Perubahan tutupan lahan pada wilayah perkotaan dapat dipicu oleh proses urbanisasi yang cepat, pada umumnya dalam upaya penyediaan sarana perumahan dan industri (Mosammam et al., 2017). Sedangkan fenomena alih fungsi lahan adalah bagian dari transformasi struktur ekonomi nasional. Pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang memusat di wilayah perkotaan menuntut ruang lebih luas ke arah luar kota untuk berbagai aktivitas ekonomi dan permukiman (Wang et al., 2019).

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. Secara Administrasi Pulau Ternate Terdiri dari empat kecamatan diantaranya Kecamatan Pulau Ternate, Kecamatan Ternate Utara, Kecamatan Ternate Tengah, Kecamatan Ternate Utara dan Kecamatan Ternate Selatan. Penelitian ini dimulai dengan tahap persiapan berisi studi kepustakaan dari buku, jurnal, ataupun dari internet. Studi pustaka dilakukan untuk memahami teori-teori dasar yang berkaitan dengan, analisis spasial temporal perubahan tutupan lahan di pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara menggunakan citra satelit resolusi tinggi.

Setelah tahap persiapan, tahap selanjutnya adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder, dimana pada penelitian ini banyak menggunakan data sekunder. Data citra satelit resolusi tinggi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Worldview -2 tahun 2013 dan 2023 diperoleh dari *Maxar Technologies*. Citra satelit Worldview-2 adalah satelit penginderaan jauh komersial yang diluncurkan oleh DigitalGlobe pada tahun 2009. Satelit ini dilengkapi dengan sistem kamera multispektral yang dapat menghasilkan citra dengan resolusi spasial hingga 50 cm. Data Citra satelit Worldview -2 tahun 2013 dan 2023 yang diperoleh kemudian dilakukan proses komposit band RGB serta dilakukan pansharpening untuk mempermudah dalam proses interpolasi dan digitasi citra. Tutupan lahan diklasifikasi berdasarkan SNI 7465:2010 Tentang Klasifikasi Tutupan Lahan yang terdiri dari lahan terbangun, lahan pertanian, lahan terbuka, lahan bukan pertanian dan badan air (Badan Standarisasi Nasional, 2010).

Data Citra satelit Worldview -2 tahun 2013 dan 2023 yang diperoleh dari Maxar Technologies telah dilakukan proses koreksi orthorektifikasi serta telah dilakukan komposit band RGB. Berikut adalah beberapa tahapan pengolahan data yang dilakukan diantaranya: 1). Digitasi dilakukan untuk membuat peta tutupan lahan pada tahun 2013 dan 2023 Digitasi dilakukan dengan menggunakan software ArcMap. 2). Verifikasi jenis tutupan lahan dengan survei lapang dilakukan berdasarkan metode cluster random sampling. Sampel diambil berdasarkan jenis klasifikasi tutupan lahan.

Jumlah titik sampel pada penelitian ini disesuaikan dengan klasifikasi tutupan lahan berdasarkan SNI 7465:2010 dengan skala 1 : 50.000. Jenis tutupan lahan sesuai dengan SNI 7645: 2010 terbagi menjadi 5 klasifikasi seperti tabel 1, dari tabel tersebut terlihat secara keseluruhan klasifikasi jenis tutupan lahan beserta definisi dan contohnya.

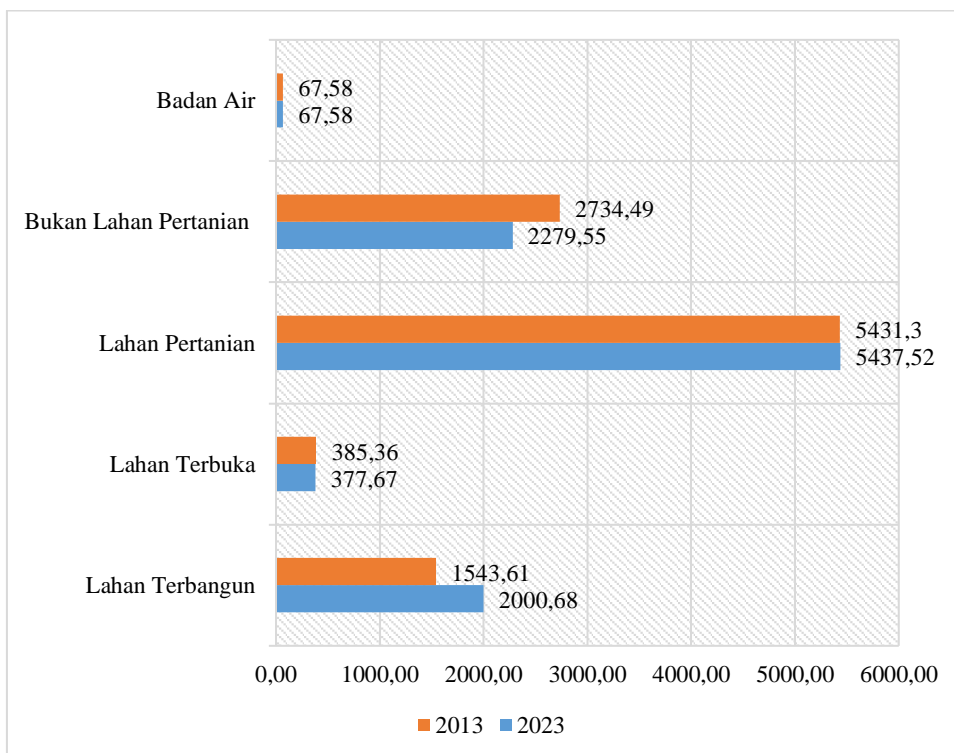
Tabel 1. Klasifikasi Tutupan Lahan

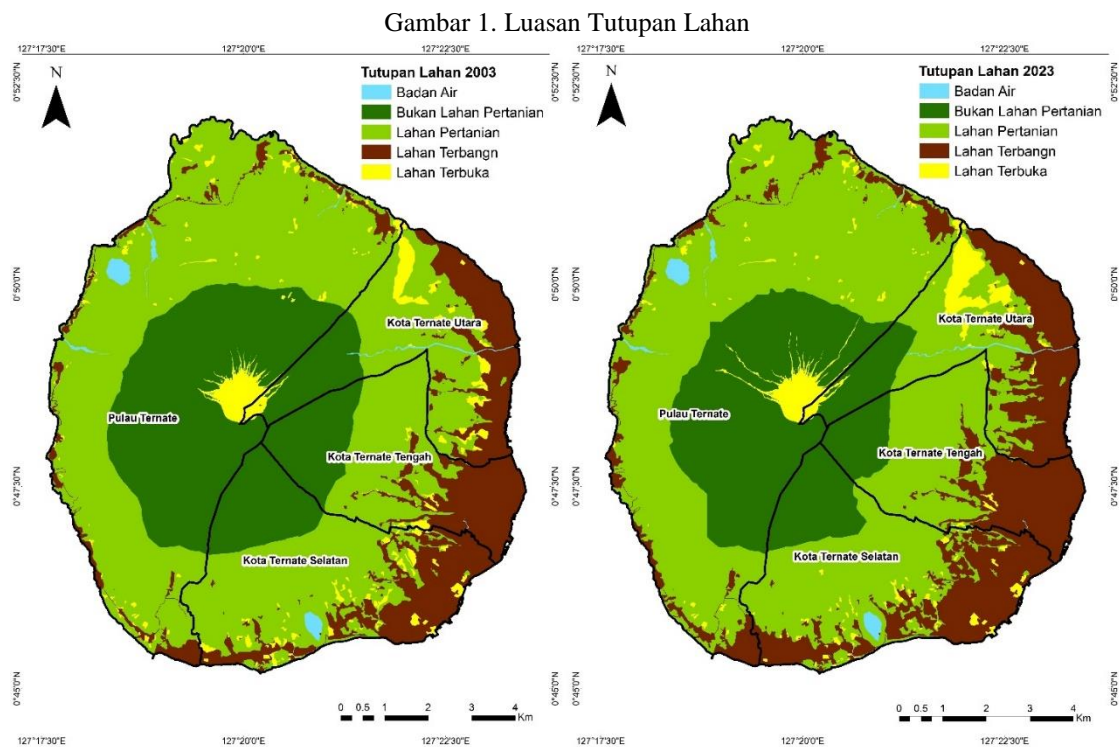
No	Klasifikasi	Definisi
1	Lahan Terbangun	Merupakan lahan terbangun dicirikan dengan adanya substitusi tutupan lahan yang bersifat alami atau semi alami oleh tutupan lahan yang bersifat artifisial dan kedap air. (contohnya lahan terbangun, perumahan, bangunan industri, fasilitas pendidikan, fasilitas jalan, fasilitas kesehatan, dan fasilitas lainnya)
2	Lahan Pertanian	Areal yang diusahakan untuk budi daya tanaman pangan dan hortikultura. (contohnya pertanian lahan kering, sawah irigasi, perkebunan, sawah tadah hujan)
3	Bukan Lahan Pertanian	Areal yang tidak diusahakan untuk budi daya tanaman pangan dan hortikultura. (contohnya hutan lahan kering, hutan lahan basah, semak, belukar)
4	Lahan Terbuka	Lahan tanpa tutupan lahan baik yang bersifat alamiah, semi alamiah, maupun artifisial. (contohnya lapangan, gumpul pasir pertambangan, gosong sungai)
5	Badan Air	Semua kenampakan perairan. (contohnya sungai, waduk, laut)

Sumber: SNI 7645: 2010

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tutupan lahan tahun 2013 menunjukkan bahwa lahan pertanian memiliki presentasi luasan yang paling besar dibandingkan kelas tutupan lahan lainnya. Jenis tutupan lahan terbangun memiliki luasan sebesar 1.543,61 ha atau 15,19 %, lahan terbuka seluas 385,36 ha atau 3,79 %, lahan pertanian seluas 5.431,03 ha atau 53,45 %, bukan lahan pertanian seluas 2.734,49 ha atau 26,91 % dan jenis tutupan lahan badan air memiliki luasan 67,58 ha atau sebesar 0,67 % dari total luasan Pulau Ternate. Berdasarkan Gambar 1, diketahui bahwa lahan terbangun mengalami penambahan luasan pada tahun 2013 ke tahun 2023. Jenis tutupan lahan terbangun memiliki luasan sebesar 2.000,68 ha atau 19,69 %, lahan terbuka seluas 377,67 ha atau 3,79 %, lahan pertanian seluas 5.421,03 ha atau 53,50 %, bukan lahan pertanian seluas 2.279,49 ha atau 22,43 % dan jenis tutupan lahan badan air memiliki luasan 67,58 ha atau sebesar 0,66 % dari total luasan Pulau Ternate. Lahan terbangun mengalami penambahan luasan sebesar 457.07 ha





Gambar 1. Tutupan Lahan Pulau Ternate Tahun 2013 dan 2023

Pertambahan luasan lahan terbangun di Pulau Ternate ini didasari oleh pertambahan jumlah penduduk yang ada disana. Berdasarkan data dari BPS tahun 2013 diketahui bahwa jumlah penduduk Kota Ternate sebanyak 202.728 jiwa dengan jumlah laki-laki sebanyak 103.031 jiwa dan penduduk perempuan sebanyak 99.697 jiwa. Pada tahun 2023 jumlah penduduk mengalami peningkatan jumlah yaitu 233.208 jiwa yang terdiri atas 118.448 jiwa penduduk laki-laki dan 114.760 jiwa penduduk perempuan (BPS, 2021). Menurut Talukdar et al. (2020), pertambahan penduduk dapat berdampak signifikan terhadap luasan lahan terbangun di suatu daerah. Ketika jumlah penduduk meningkat, permintaan akan perumahan, fasilitas umum, infrastruktur, dan area komersial juga meningkat (Pertuack et al., 2023). Dalam mengatasi kebutuhan ini, seringkali lahan yang sebelumnya belum terbangun akan dikonversi menjadi lahan terbangun.

Pengaruh pertambahan penduduk terhadap luasan lahan terbangun adalah sebagai berikut: a). Urbanisasi: Pertambahan penduduk sering menyebabkan urbanisasi, yaitu migrasi penduduk dari daerah pedesaan ke daerah perkotaan (Mishra et al., 2018). Hal ini mengakibatkan perluasan kota dan konversi lahan pertanian atau lahan terbuka lainnya menjadi kawasan pemukiman, industri, dan komersial (Senamaw et al., 2022). b). Pengembangan Perumahan: Pertambahan penduduk memicu kebutuhan akan lebih banyak perumahan. Sebagai hasilnya, lahan yang sebelumnya belum terbangun, seperti lahan pertanian atau lahan kosong, akan diubah menjadi kawasan perumahan (Fitriana et al., 2021). c). Peningkatan Infrastruktur: Pertambahan penduduk juga mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan infrastruktur, seperti jalan, jembatan, dan transportasi publik (Attaallah, 2018). Pembangunan infrastruktur ini sering memerlukan konversi lahan yang belum terbangun menjadi lahan terbangun (Supriatna et al., 2016). d) Peningkatan Fasilitas Umum: Dengan bertambahnya penduduk, kebutuhan akan fasilitas umum seperti sekolah, rumah sakit, pusat perbelanjaan, dan fasilitas rekreasi juga meningkat. Pembangunan fasilitas ini sering melibatkan konversi lahan yang sebelumnya belum terbangun. e). Penyediaan Area Industri dan Perdagangan: Pertambahan penduduk juga meningkatkan permintaan akan area industri dan perdagangan (Fitri et al., 2021). Hal ini menyebabkan konversi lahan untuk pembangunan pabrik, gudang, dan pusat bisnis (Manakane et al., 2023).

Menurut Kura & Beyene, (2020), pertambahan penduduk yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan masalah seperti pengurangan lahan terbuka, hilangnya lahan pertanian, penurunan kualitas lingkungan, dan kemacetan lalu lintas. Oleh karena itu, perlu adanya perencanaan tata ruang yang baik dan kebijakan pengelolaan lahan yang berkelanjutan untuk mengatasi dampak pertambahan penduduk terhadap luasan lahan terbangun (Rakuasa & Somae, 2022). Kebijakan tersebut dapat mencakup pembatasan konversi lahan pertanian atau lahan terbuka menjadi lahan terbangun, pengembangan kawasan terpadu, dan penggunaan kembali lahan yang terlantar atau terbengkalai (Muin & Rakuasa, 2023). Dengan pendekatan yang bijaksana, pertambahan penduduk dapat dikelola sedemikian rupa sehingga

dapat mendukung pertumbuhan yang berkelanjutan dan menjaga keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan (Latue et al., 2023).

Analisis perubahan tutupan lahan di Pulau Ternate antara tahun 2013 dan 2023 memiliki berbagai manfaat yang sangat penting dalam pemahaman tentang perubahan lingkungan dan perencanaan pembangunan diantaranya yaitu;

- a) Pemahaman Perubahan Lingkungan: Analisis perubahan tutupan lahan memberikan gambaran tentang bagaimana lingkungan di Pulau Ternate telah berubah dari tahun 2013 hingga 2023. Informasi ini penting untuk mengidentifikasi perubahan yang telah terjadi dan memahami tren lingkungan di masa depan.
- b) Pengelolaan Sumber Daya Alam: Analisis ini membantu dalam mengelola sumber daya alam di Pulau Ternate dengan lebih efisien. Misalnya, pemantauan perubahan tutupan lahan dapat membantu dalam perlindungan hutan, pengelolaan lahan pertanian, dan manajemen ekosistem lainnya.
- c) Penilaian Dampak Pembangunan: Analisis perubahan tutupan lahan membantu dalam menilai dampak pembangunan dan urbanisasi terhadap lingkungan. Ini dapat membantu dalam merancang kebijakan pembangunan yang berkelanjutan dan meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.
- d) Perencanaan Kota dan Wilayah: Informasi tentang perubahan tutupan lahan sangat berharga dalam perencanaan pembangunan kota dan wilayah di masa depan. Data ini dapat membantu dalam menentukan lokasi yang tepat untuk pengembangan perkotaan, infrastruktur, dan fasilitas umum lainnya.
- e) Penanganan Bencana Alam: Analisis perubahan tutupan lahan dapat membantu dalam mengidentifikasi daerah yang rentan terhadap bencana alam seperti banjir, tanah longsor, atau kekeringan. Informasi ini dapat digunakan untuk merencanakan tindakan mitigasi dan adaptasi untuk mengurangi risiko bencana.
- f) Konservasi Lingkungan: Data perubahan tutupan lahan memainkan peran penting dalam upaya konservasi lingkungan. Identifikasi area penting yang perlu dilindungi seperti hutan, daerah aliran sungai, atau habitat satwa liar dapat dilakukan berdasarkan analisis ini.
- g) Pengawasan dan Evaluasi Kebijakan: Analisis perubahan tutupan lahan membantu dalam pengawasan dan evaluasi kebijakan lingkungan dan pembangunan yang telah diimplementasikan. Data ini dapat digunakan untuk menilai efektivitas kebijakan dan membuat penyesuaian yang diperlukan.
- h) Perubahan Iklim: Informasi tentang perubahan tutupan lahan juga relevan dalam pemahaman tentang perubahan iklim. Perubahan lahan seperti deforestasi atau perubahan penggunaan lahan dapat mempengaruhi emisi gas rumah kaca dan iklim regional.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan terbangun di Pulau Ternate mengalami pertambahan luasan setiap pada periode tahun 2013-2023, berbeda dengan kelas tutupan lahan lainnya yang mengalami penurunan luasan. Pulau Ternate yang merupakan pusat pemerintahan, ekonomi, pendidikan serta laju pertumbuhan penduduk meningkat membuat lahan terbangun di Pulau Ternate semakin meningkat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah Kota Ternate dan Instansi terkait pemanfaatan dan penataan ruang ke depannya yang lebih baik dan berlandaskan SDGS.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, P. N., Dimiyati, M., Manesa, M. D. M., & Rakuasa, H. (2023). MODEL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN BERBASIS CA-MARKOV: STUDI KASUS KECAMATAN TERNATE UTARA, KOTA TERNATE. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 451–460. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.28>
- Attaallah, H. (2018). Modeling of built-up lands expansion in Gaza Strip, Palestine using Landsat data and {CA}-Markov model. *{IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169, 12035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012035>
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). *SNI 7645-2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan*.
- BPS. (2021). *Kota Ternate Dalam Angka Tahun 2021* (BPS Kota Ternate (ed.)). BPS Kota Ternate.
- Burke, M., Driscoll, A., Lobell, D. B., & Ermon, S. (2021). Using satellite imagery to understand and promote sustainable development. *Science*, 371(6535). <https://doi.org/10.1126/science.abe8628>
- Dadrass Javan, F., Samadzadegan, F., Mehravar, S., Toosi, A., Khatami, R., & Stein, A. (2021). A review of image fusion techniques for pan-sharpening of high-resolution satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171, 101–117. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.11.001>
- Fitri, N. I., Damayanti, A., Indra, T. L. L., & Dimiyati, M. (2021). Cellular Automata and Markov Chain Spatial Modeling for Residential Area Carrying Capacity in Samarinda City, East Kalimantan Province. *IOP Conference*

- Series: Earth and Environmental Science*, 673(1), 12051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/673/1/012051>
- Fitriana, A., Subiyanto, S., Firdaus, H., Mustafa, A., Ebaid, A., Omrani, H., McPhearson, T., Xing, W., Qian, Y., Guan, X., Yang, T., Wu, H., Subiyanto, S., Amrohman, F. J., Al-Shaar, W., Adjizian Gérard, J., Nehme, N., Lakiss, H., Bucciarti Barakat, L., ... Supriatna, S. (2021). Land change prediction in Bondowoso Regency using Automata Markov method. *{IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311(4), 100321. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104430>
- Franch-Pardo, I., Napoletano, B. M., Rosete-Verges, F., & Billa, L. (2020). Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Science of The Total Environment*, 739, 140033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140033>
- Heinrich Rakuasa, G. S. (2022). Analisis Spasial Kesesuaian dan Evaluasi Lahan Permukiman di Kota Ambon. *Jurnal Sains Informasi Geografi (J SIG)*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.31314/j%20sig.v5i1.1432>
- Khan, R., Li, H., Basir, M., Chen, Y. L., Sajjad, M. M., Haq, I. U., Ullah, B., Arif, M., & Hassan, W. (2022). Monitoring land use land cover changes and its impacts on land surface temperature over Mardan and Charsadda Districts, Khyber Pakhtunkhwa (KP), Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(6), 409. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10072-1>
- Kura, A. L., & Beyene, D. L. (2020). Cellular automata Markov chain model based deforestation modelling in the pastoral and agro-pastoral areas of southern Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100321. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100321>
- Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Analysis of Land Cover Change Due to Urban Growth in Central Ternate District, Ternate City using Cellular Automata-Markov Chain. *Journal of Applied Geospatial Information*, 7(1), 722–728. <https://doi.org/https://doi.org/10.30871/jagi.v7i1.4653>
- Latue, P. C., Septory, J. S. I., & Rakuasa, H. (2023). Perubahan Tutupan Lahan Kota Ambon Tahun 2015, 2019 dan 2023. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*, 10(1), 177–186. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v10i1.15472>
- Latue, Philia, C., Manakane, S. E., & Rakuasa, H. (2023). Analisis Perkembangan Kepadatan Permukiman di Kota Ambon Tahun 2013 dan 2023 Menggunakan Metode Kernel Density. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(1), 26–34. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i1.272>
- Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). ANALISIS SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI DAS WAE BATUGANTONG, KOTA AMBON. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 149–155. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.17>
- Manakane, S. E., Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023). Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 1(2), 51–60. <https://doi.org/https://jurnal.ilmubersama.com/index.php/tabela/article/view/301#:~:text=DOI%3A-,https%3A//doi.org/10.56211/tabela.v1i2.301,-Keywords%3A%20Marikurubu>
- Mansour, S., Al-Belushi, M., & Al-Awadhi, T. (2020). Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy*, 91, 104414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104414>
- Mishra, V. N., Rai, P. K., Prasad, R., Punia, M., & Nistor, M.-M. (2018). Prediction of spatio-temporal land use/land cover dynamics in rapidly developing Varanasi district of Uttar Pradesh, India, using geospatial approach: a comparison of hybrid models. *Applied Geomatics*, 10(3), 257–276. <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0223-5>
- 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>
- Muin, A., & Rakuasa, H. (2023). Evaluasi Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Ambon Berdasarkan Aspek Kerawanan Banjir. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(5), 1727–1738. <https://doi.org/https://doi.org/10.56799/jim.v2i5.1485>
- Pertuack, S., Latue, P.C., & Rakuasa, H. (2023). Analisis Spasial Daya Dukung Lahan Permukiman Kota Ternate. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(6), 2084–2090. <https://doi.org/https://doi.org/10.56799/jim.v2i6.1574>
- Rakuasa, H., & Pakniyan, Y. (2022). Spatial Dynamics of Land Cover Change in Ternate Tengah District, Ternate City, Indonesia. *Forum Geografi*, 36(2), 126–135. <https://doi.org/DOI: 10.23917/forgeo.v36i2.19978>
- Rakuasa, H., Salakory, M., & Mehdil, M. C. (2022). Prediksi perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batu Merah, Kota Ambon menggunakan Cellular Automata Markov Chain. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 6(2), 59–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.36813/jplb.6.2.59-75>
- Rakuasa, H. (2022). Analisis Spasial - Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya. *GEOGRAPHIA: Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Geografi*, 3(2), 115–122. <https://doi.org/10.53682/gjppg.v3i2.5262>
- Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023). ANALISIS SPASIAL DAERAH RAWAN BANJIR DI DAS WAE HERU, KOTA AMBON. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 75–82. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.8>
- Rakuasa, H., Sihasale, D. A., Somae, G., & Latue, P. C. (2023). Prediction of Land Cover Model for Central Ambon City in 2041 Using the Cellular Automata Markov Chains Method. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2023.v4i1.85>
- Senamaw, A., Gashaw, T., & Ehsan, M. A. (2022). Impacts of Land-Use/Land-Cover Changes on Water-Borne Soil

- Erosion Using Geospatial Technologies and RUSLE Model over Chimbel Watershed of Upper Blue Nile Basin in Ethiopia. *Earth Systems and Environment*, 6(2), 483–497. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00259-w>
- Septory, J. S. I., Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Model Dinamika Spasial Perubahan Tutupan Lahan dan Daya Dukung Lahan Permukiman Kota Ambon Tahun 2031. *GEOGRAPHIA: Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Geografi*, 4(1), 51–62. <https://doi.org/10.53682/gjppg.v4i1.5801>
- Stoian, A., Poulain, V., Inglada, J., Poughon, V., & Derksen, D. (2019). Land Cover Maps Production with High Resolution Satellite Image Time Series and Convolutional Neural Networks: Adaptations and Limits for Operational Systems. *Remote Sensing*, 11(17), 1986. <https://doi.org/10.3390/rs11171986>
- Sugandhi, N., Supriatna, S., Kusratmoko, E., & Rakuasa, H. (2022). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan Celular Automata-Markov Chain. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*, 9(2), 104–118. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v9i2.13880>
- Suharyo, O. S., & Hidayah, Z. (2019). Pemanfaatan Citra Satelit Resolusi Tinggi Untuk Identifikasi Perubahan Garis Pantai Pesisir Utara Surabaya. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 12(1), 89–96. <https://doi.org/DOI:10.24114/jg.v11i2.13470>
- Supriatna, Supriatna, J., Koestoer, R. H., & Takarina, N. D. (2016). Spatial Dynamics Model for Sustainability Landscape in Cimandiri Estuary, West Java, Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227(November 2015), 19–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.038>
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A., & Rahman, A. (2020). Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review. *Remote Sensing*, 12(7), 1135. <https://doi.org/10.3390/rs12071135>
- Umanailo, H. A., Franklin, P. J., & Waani, J. O. (2017). Perkembangan Pusat Kota Ternate (Studi Kasus: Kecamatan Ternate Tengah). *Spasial*, 4(3), 222–233.
- Wang, R., Cai, M., Ren, C., Bechtel, B., Xu, Y., & Ng, E. (2019). Detecting multi-temporal land cover change and land surface temperature in Pearl River Delta by adopting local climate zone. *Urban Climate*, 28, 100455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100455>
- 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>