

Artikel Penelitian

Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate

Susan E. Manakane¹, Philia Christi Latue², Heinrich Rakuasa¹

¹ Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

² Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 24 Juni 2023

Revisi Akhir: 13 Juli 2023

Diterbitkan Online: 21 Juli 2023

KATA KUNCI

Marikurubu; Penginderaan Jauh; Sistem Informasi Geografis; Tutupan Lahan

KORESPONDENSI

Phone: +62 813 4284 7435

E-mail: heinrichrakuasa14@gmail.com

A B S T R A K

Pertambahan jumlah penduduk yang semakin meningkat, tentunya berpengaruh terhadap kebutuhan dan ketersediaan lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. Dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis kita dapat mengidentifikasi dan menganalisis perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu dengan menggunakan data citra satelit. Penelitian ini menggunakan data citra satelit Landsat 4-5 TM C2 L2 tahun 2003 untuk analisis tutupan lahan tahun 2003, dan Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 tahun 2013 untuk analisis tutupan lahan tahun 2013 dan 2023 dengan mengacu pada standar klasifikasi tutupan lahan berdasarkan SNI-2010 yang dilakukan dengan interpretasi dan digitasi yang dilakukan secara visual di software Arc GIS 10.8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan terbangun di DAS Marikurubu, Kota Ternate mengalami pertambahan luasan pada periode 2003-2013-2023. Pada tahun 2003 memiliki persentase luasan sebesar 44,58%, tahun 2013 sebesar 49,60% dan pada tahun 2023 sebesar 51,74% dari total luasan di DAS Marikurubu. Hal ini tentunya berbeda dengan kelas tutupan lahan lainnya yang mengalami penurunan luasan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi informasi bagi pemerintah dan masyarakat dalam upaya penataan ruang kedepannya di Daerah Aliran Sungai (DAS) Marikurubu, Kota Ternate kedepannya.

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi yang semakin maju, pemahaman tentang perubahan lingkungan menjadi sangat penting. Salah satu aspek lingkungan yang penting untuk dipelajari adalah perubahan tutupan lahan (Sapena & Ruiz, 2019), (Philia Christi Latue & Heinrich Rakuasa, 2023). Perubahan tutupan lahan mencakup transformasi dari satu jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan yang lain, seperti perubahan dari hutan menjadi lahan pertanian, atau dari lahan pertanian menjadi perkotaan (Yan et al., 2022), (Latue, P. C., Septory, J. S. I., & Rakuasa, 2023). Pada kota-kota yang berkembang pesat, perubahan tutupan lahan menjadi semakin penting untuk diperhatikan. Salah satu contohnya adalah Kota Ternate, yang merupakan ibu kota dari Provinsi Maluku Utara di Indonesia (Rakuasa, H., & Pakniany, 2022). Kota Ternate mengalami pertumbuhan populasi dan pembangunan infrastruktur yang pesat dalam beberapa tahun terakhir (Umanailo, H. A., Franklin, P. J., & Waani, 2017), (Pertuack, S., Latue, P. C., & Rakuasa, 2023). Perubahan ini berdampak pada perubahan tutupan lahan di daerah aliran sungai (DAS) Marikurubu, yang merupakan salah satu DAS utama di Kota Ternate (Achmadi et al., 2023).

DAS Marikurubu, yang terletak di Kota Ternate, merupakan salah satu sumber daya alam yang penting di wilayah tersebut. DAS ini memiliki peranan yang signifikan dalam mempengaruhi ekosistem, keberlanjutan air, dan kualitas lingkungan hidup di sekitarnya. Oleh karena itu, identifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu sangat penting untuk pemahaman dan pengelolaan yang berkelanjutan (Latue, P. C & Rakuasa, 2023). Salah satu aspek utama yang perlu diidentifikasi adalah perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu. Melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, citra satelit dapat memberikan gambaran yang jelas tentang jenis tutupan lahan yang ada, seperti hutan, perkebunan, pertanian, dan pemukiman manusia (Sugandhi, N., Rakuasa, H., Zainudin, Z., Wahab, W. A., Kamiludin, K., Jaelani, A.,

... & Rinaldi, 2023), (Rakuasa, 2022), (Toure et al., 2018). Dengan menganalisis citra-citra ini dari waktu ke waktu, perubahan dalam tutupan lahan dapat diidentifikasi dan dianalisis arah perubahannya serta dampak yang akan terjadi (Latue et al., 2023), (Rakuasa et al., 2023).

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) telah membawa perubahan signifikan dalam pemetaan dan pemantauan perubahan tutupan lahan (Somae, G., Supriatna, S., Rakuasa, H., & Lubis, 2023), (Kisamba & Li, 2022). Teknologi penginderaan jauh memungkinkan pengambilan data tentang tutupan lahan dari jarak jauh menggunakan *drone* atau satelit (Sugandhi, N., Rakuasa, H., Zainudin, Z., Wahab, W. A., Kamiludin, K., Jaelani, A., ... & Rinaldi, 2023). Penelitian-penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Rakuasa et al, yang memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di DAS Wae Ruhu Kota Ambon, telah menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis sangat efektif dalam mengidentifikasi perubahan tutupan lahan (Rakuasa, H., Salakory, M., & Latue, 2022). Namun, penelitian tentang pemanfaatan teknologi ini untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate, belum pernah dilakukan. Oleh karena itu pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk identifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu. SIG memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber, seperti data sosial ekonomi, demografi, dan geologi, untuk dianalisis bersama dengan data penginderaan jauh (Latue & Rakuasa, 2023), (Rakuasa & Pertuack, 2023). Dengan cara ini, kita dapat memahami lebih baik faktor-faktor sosial dan ekonomi yang mempengaruhi perubahan tutupan lahan di wilayah ini. Informasi ini dapat menjadi dasar yang kuat dalam pengambilan keputusan dan perencanaan pengelolaan DAS Marikurubu.

Secara keseluruhan, pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat penting dalam identifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. Melalui penggunaan citra satelit dan analisis SIG, kita dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang perubahan tutupan lahan, tren, dan dampaknya terhadap ekosistem dan keberlanjutan lingkungan. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan dan pengelolaan yang berkelanjutan guna melindungi dan memanfaatkan DAS Marikurubu dengan bijak.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi yang signifikan dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan pengelolaan lingkungan di Kota Ternate serta memberikan kontribusi dalam bidang penelitian teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Berdasarkan uraian diatas penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk identifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate.

TINJAUAN PUSTAKA

Penginderaan Jauh

Secara umum, penginderaan jauh dianggap sebagai ilmu dan teknologi yang melibatkan penggunaan sensor dan alat yang tidak berada dalam kontak fisik dengan objek atau daerah yang diamati untuk mengumpulkan data dan informasi tentang mereka (Munthali et al., 2020). Dalam penginderaan jauh, data tersebut dianalisis dan diinterpretasikan untuk memahami dan memetakan karakteristik fisik, komposisi, dan perubahan yang terjadi pada objek atau daerah yang diamati.

Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis, dan prosedur yang digunakan untuk mengumpulkan, mengelola, menganalisis, dan menyajikan data yang berkaitan dengan lokasi geografis (Chuang et al., 2020). SIG digunakan untuk memahami pola spasial, membuat pemodelan, dan mendukung pengambilan keputusan dalam berbagai bidang, termasuk pemetaan kebencanaan (Pakniyany, Y., Latue, P. C., & Rakuasa, 2023), (Latue, P. C., & Rakuasa, 2032), pemantauan lingkungan, perencanaan kota (Muin, A., & Rakuasa, 2023), pemetaan sebaran objek wisata (Mehdil et al., 2022), bidang kesehatan (Rakuasa, H., Tambunan, M. P., & Tambunan, 2021).

Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan merujuk pada perubahan yang terjadi dalam jenis penggunaan lahan atau komposisi vegetasi di suatu wilayah tertentu (Badan Standarisasi Nasional, 2010). Ini mencakup perubahan dari satu tipe tutupan lahan ke tipe lain, seperti perubahan dari hutan menjadi lahan pertanian, lahan pertanian menjadi perkotaan, atau lahan terdegradasi

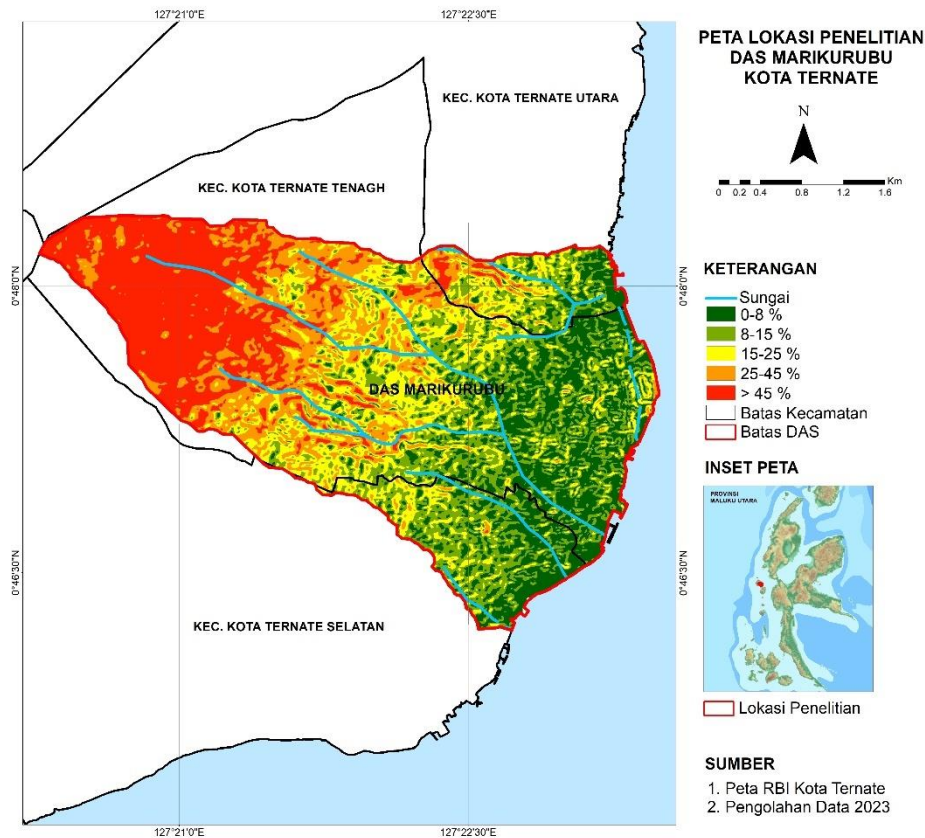
menjadi hutan yang pulih. Perubahan tutupan lahan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia, seperti pertanian, pembangunan infrastruktur, pertambangan, dan deforestasi (Hu et al., 2021). Faktor alam seperti kebakaran hutan, erosi, perubahan iklim, dan perubahan geologi juga dapat mempengaruhi perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem, iklim, hidrologi, keanekaragaman hayati, dan masyarakat di wilayah tersebut (Wang et al., 2021). Dalam beberapa kasus, perubahan tutupan lahan dapat memiliki dampak negatif, seperti hilangnya habitat alami, penurunan kualitas tanah dan air, peningkatan risiko bencana alam, dan perubahan dalam rantai makanan dan ekosistem.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di DAS Marikurubu yang terletak di Kota Ternate, Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. Secara geografis DAS Marikurubu terletak pada posisi 0° 46' 30" – 0° 48' 00,00" Lintang Selatan dan 127° 21' 00" – 127° 22' 30" Bujur Timur dengan luas 1.325,54 ha. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini menggunakan data citra satelit Landsat 4-5 TM C2 L2 tahun 2003, Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 tahun 2013 dan 2023 *path 013 raw 029* yang didownload dari website *United States Geological Survey (USGS)*. Data citra yang diperoleh kemudian dilakukan proses koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Setelah dilakukan proses koreksi kemudian dilakukan proses digitasi tutupan lahan tahun 2003, 2013 dan 2023. Tutupan lahan yang digitasi kemudian diklasifikasi berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2010, tentang klasifikasi tutupan lahan (Badan Standarisasi Nasional, 2010). Kelas tutupan lahan diklasifikasi menjadi lima kelas tutupan lahan yaitu lahan terbangun, lahan terbuka, lahan pertanian, bukan lahan pertanian dan badan air. 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 Jenis Tutupan Lahan Menurut SNI 7645:2010

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)



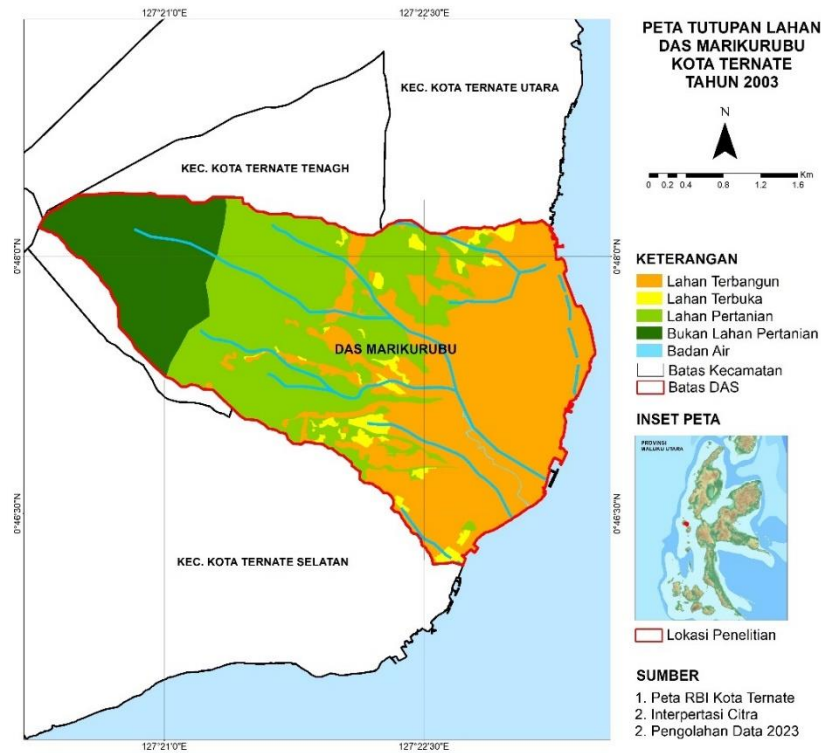
Gambar 1. Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tutupan lahan di DAS Marikurubu menunjukkan bahwa di tahun 2003 lahan terbangun memiliki presentasi luasan yang paling besar dibandingkan kelas tutupan lahan lainnya. Jenis tutupan lahan terbangun memiliki luasan sebesar 590,88 ha atau 44,58 %, lahan terbuka seluas 40,07 ha atau 3,02 %, lahan pertanian seluas 474,59 ha atau 35,80 %, bukan lahan pertanian seluas 218,54 ha atau 16,49 % dan jenis tutupan lahan badan air memiliki luasan 1,46 ha atau sebesar 0,11 % dari total luasan DAS Marikurubu. Selengkapnya luas tutupan lahan DAS Marikurubu tahun 2003 dapat dilihat pada tabel 2.

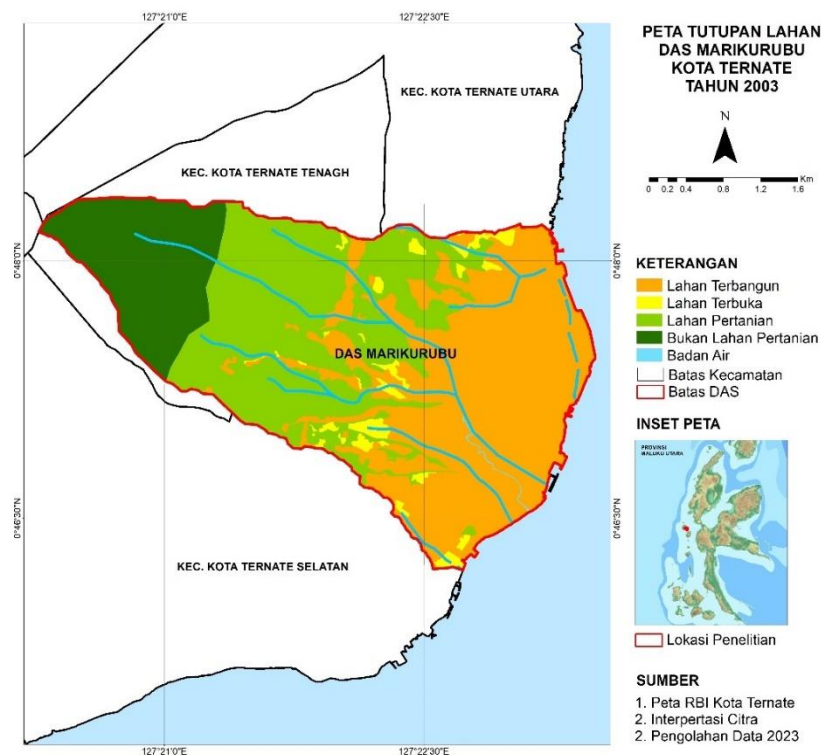
Tabel 2. Luasan Tutupan Lahan Tahun 2003

No	Kelas Tutupan lahan	Luas	
		ha	%
1	Lahan Terbangun	590, 88	44, 58
2	Lahan Terbuka	40, 07	3, 02
3	Lahan Pertanian	474, 59	35, 80
4	Bukan Lahan Pertanian	218, 54	16, 49
5	Badan Air	1, 46	0, 11
Total luasan		1.325, 54	100,00



Gambar 2. Tutupan Lahan Tahun 2003

Menurut Rakuasa, & Pakniany (2022), salah satu penyebab utama meningkatnya luasan lahan terbangun di DAS Marikurubu adalah pertumbuhan penduduk. Seperti pada DAS lainnya di Kota Ternate, DAS Marikurubu juga telah mengalami peningkatan penduduk yang signifikan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Kota Ternate tahun 2003 berjumlah 148.946 jiwa, hal ini menunjukkan adanya kenaikan sebesar 28.081 jiwa atau 23.2 % bila dibandingkan tahun sebelumnya yang berjumlah 120.865 jiwa. Pertumbuhan penduduk ini berarti meningkatnya permintaan akan lahan untuk tempat tinggal, perdagangan, dan industri. Sebagai respons terhadap pertumbuhan ini, lahan yang sebelumnya belum terbangun dikonversi menjadi lahan terbangun untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Secara spasial tutupan lahan DAS Marikurubu pada tahun 2003 dapat dilihat pada Gambar 2.

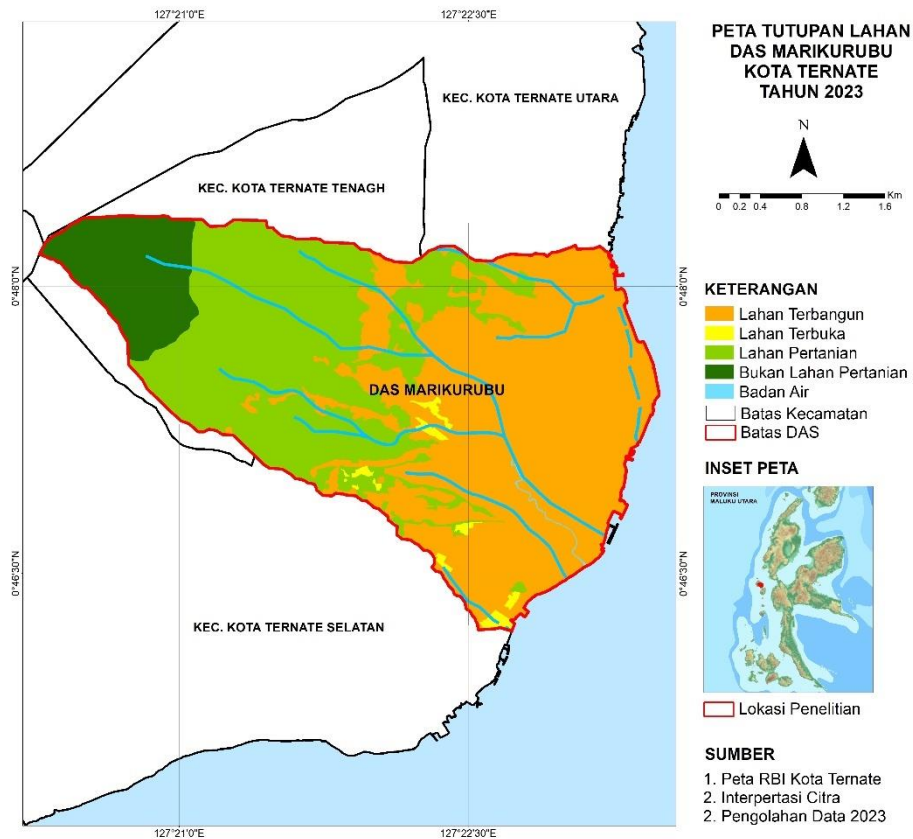


Gambar 3. Tutupan Lahan Tahun 2013

Tabel 3. Luasan Tutupan Lahan Tahun 2013

No	Kelas Tutupan lahan	Luas	
		ha	%
1	Lahan Terbangun	657,50	49,60
2	Lahan Terbuka	24,03	1,81
3	Lahan Pertanian	480,78	36,27
4	Bukan Lahan Pertanian	161,77	12,20
5	Badan Air	1,46	0,11
Total luasan		1.325,54	100,00

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 3 diatas, tutupan lahan terbangun di tahun 2013 mengalami pertambahan luasan sebesar 49,60% atau seluas 657,50 ha, lahan terbuka memiliki luas 24,03 ha 1,81%, lahan pertanian memiliki luas 480,78 ha atau sebesar 36,27%, bukan lahan pertanian memiliki luas 161,77 ha atau sebesar 12,20% dan badan air memiliki luas 1,46 ha atau sebesar 0,11%. Peningkatan luasan lahan terbangun tentunya sangat dipengaruhi oleh pertambahan jumlah penduduk pada periode 10 tahun (2003-2010). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Kota Ternate tahun 2013 berjumlah 190,429 jiwa dengan jumlah laki-laki sebanyak 96,755 jiwa dan perempuan sebanyak 93,429 jiwa, jumlah penduduk yang terus bertambah tentunya berdampak pada kebutuhan lahan yang semakin meningkat. Menurut Umanailo et al., (2017), pembangunan infrastruktur menjadi faktor penting yang berkontribusi pada peningkatan luasan lahan terbangun di DAS Marikurubu. Pembangunan jalan, jembatan, dan fasilitas transportasi lainnya memerlukan lahan yang luas. Dengan perkembangan ekonomi dan kebutuhan akan konektivitas yang lebih baik, proyek infrastruktur semacam itu menjadi penting. Namun, konversi lahan menjadi lahan terbangun untuk pembangunan infrastruktur dapat memiliki dampak negatif terhadap ekosistem alami dan keberlanjutan lingkungan (Kang & Kanniah, 2022).



Gambar 4. Tutupan Lahan Tahun 2023

Tabel 4. Luasan Tutupan Lahan Tahun 2023

No	Kelas Tutupan lahan	Luas	
		ha	%
1	Lahan Terbangun	685,79	51,74
2	Lahan Terbuka	15,10	1,14
3	Lahan Pertanian	492,22	37,13
4	Bukan Lahan Pertanian	130,96	9,88
5	Badan Air	1,46	0,11
Total luasan		1.325,54	100,00

Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 4 diatas, tutupan lahan terbangun di tahun 2023 memiliki presentasi luasan yang paling besar dibandingkan kelas tutupan lahan lainnya. Jenis tutupan lahan terbangun memiliki luasan sebesar 685,79 ha atau 51,75 %, lahan terbuka seluas 15,10 ha atau 1,14 %, lahan pertanian seluas 492,22 ha atau 37,12 %, bukan lahan pertanian seluas 130,96 ha atau 9,88 % dan jenis tutupan lahan badan air memiliki luasan 1,46 ha atau sebesar 0,11 % dari total luasan DAS Marikurubu. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rakuasa & Pakniany, di Kecamatan Ternate Tengah yang merupakan lokasi dimana DAS Marikurubu berada di jelaskan bahwa urbanisasi juga menjadi faktor yang paling berpengaruh pada peningkatan luasan lahan terbangun di DAS Marikurubu. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi, banyak daerah yang sebelumnya pedesaan telah mengalami perubahan menjadi perkotaan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Kota Ternate tahun 2023 berjumlah 233.208 jiwa yang terdiri atas 118.448 jiwa penduduk laki-laki dan 114.760 jiwa penduduk perempuan. Hal ini berarti lahan pertanian, hutan, atau lahan kosong dikonversi menjadi lahan terbangun untuk memenuhi kebutuhan perumahan dan fasilitas perkotaan. Urbanisasi ini sering kali tidak terkoordinasi dengan baik, menyebabkan kehilangan lahan pertanian produktif dan dampak negatif pada lingkungan.

Perkembangan ekonomi Kota Ternate juga memainkan peran penting dalam peningkatan luasan lahan terbangun di DAS Marikurubu (Sarihi, Y. R., Tilaar, S., & Rengkung, 2020). Pertumbuhan ekonomi yang pesat dan peningkatan investasi bisnis sering kali memicu peningkatan permintaan lahan untuk pengembangan pabrik, perusahaan, dan pusat bisnis (Tariq et al., 2023). Pengembangan ini seringkali memerlukan lahan yang luas, dan sebagai hasilnya, lahan yang sebelumnya belum terbangun dikonversi menjadi lahan terbangun (Jafarpour Ghalehtimouri et al., 2022). Menurut Pravitarsari et al, kebijakan pemerintah juga dapat mempengaruhi peningkatan luasan lahan terbangun di DAS Marikurubu (Pravitarsari et al., 2020). Perubahan kebijakan terkait penggunaan lahan, perumahan, atau pengembangan wilayah dapat mendorong atau membatasi konversi lahan menjadi lahan terbangun (Calderón-Loor et al., 2021). Hasil analisis perubahan tutupan lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Marikurubu memiliki manfaat yang signifikan dalam pemahaman dan pengelolaan wilayah tersebut. Melalui analisis tersebut, kita dapat mengidentifikasi dan memahami perubahan yang terjadi pada tutupan lahan dari waktu ke waktu, serta dampaknya terhadap lingkungan, ekosistem, dan masyarakat.

Banjir yang terjadi tiga tahun terakhir di sekitar DAS Marikurubu, Kota Ternate, merupakan dampak dari konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian, pemukiman. Menurut Kusumo & Nursari, (2016), perubahan tutupan lahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap banjir yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) (Kusumo, P., & Nursari, 2016). DAS Marikurubu merupakan wilayah yang penting dalam siklus hidrologi dan memiliki keterkaitan erat dengan kondisi tutupan lahan di sekitarnya. Beberapa pengaruh utama yang mungkin terjadi jika terjadi perubahan tutupan lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) diantaranya penurunan kemampuan penyerapan air, perubahan aliran air dan perubahan tata guna lahan. Menurut Muin et al., (2023), jika terjadi konversi lahan yang luas dari hutan atau tanah yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap air menjadi lahan perkotaan atau pertanian intensif, kemampuan lahan tersebut untuk menyerap air hujan akan berkurang (Muin, A., Somae, G., & Rakuasa, 2023). Hal ini menyebabkan air hujan yang jatuh tidak dapat diserap dengan baik oleh tanah, melainkan langsung mengalir ke sungai-sungai di DAS Marikurubu. Akibatnya, debit sungai meningkat secara tiba-tiba dan berpotensi menyebabkan banjir (Rakuasa & Latue, 2023).

Menurut Latue et al., (2023) dengan adanya perubahan tutupan lahan, terutama akibat pembangunan infrastruktur seperti jalan, gedung, atau saluran drainase, pola aliran air dalam DAS dapat berubah (Latue, P. C., Imanuel Septory, J. S., Somae, G., & Rakuasa, 2023). Perubahan ini dapat mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran air dan meningkatkan risiko banjir (Rakuasa, H., Helwend, J. K., & Sihasale, 2022). Konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian atau perkotaan dapat meningkatkan risiko erosi tanah (Sugandhi, N., Rakuasa, H., Zainudin, Z., Abdul Wahab, W., Kamiludin, K., Jaelani, A., Ramdhani, R., & Rinaldi, 2023). Tanah yang tererosi akan terbawa oleh aliran air dan kemudian mengendap

di sungai-sungai, menyebabkan pendangkalan sungai. Pendangkalan ini dapat mengurangi kapasitas sungai untuk menampung air, yang pada gilirannya meningkatkan risiko banjir (Sisi Febriyanti Muin, Rizaldi Boer, 2015), (Heinrich Rakuasa, Daniel A Sihasale, Marhelin C Mehdila, 2022). Perubahan tata guna lahan yang tidak terencana atau tidak sesuai dengan prinsip-prinsip tata ruang yang baik dapat mengganggu keseimbangan hidrologi di DAS Marikurubu. Misalnya, pembangunan pemukiman di daerah rawa atau penambangan tanah yang tidak terkendali dapat mengurangi kemampuan alamiah DAS dalam mengatasi limpasan air hujan secara efektif (Rumihin, A., Djajadi, R., & Kusumastuti, 2015), (Heinrich Rakuasa, Glendy Somae, 2023).

Untuk meminimalkan pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap banjir, diperlukan upaya pengelolaan DAS yang terpadu dan berkelanjutan. Hal ini meliputi pengendalian perubahan tata guna lahan yang tidak terencana, penghijauan, rehabilitasi hutan, pemeliharaan saluran drainase, dan pengaturan penggunaan lahan yang berkelanjutan (Muin, A., & Rakuasa, 2023). Selain itu, penting juga untuk melibatkan berbagai pemangku kepentingan, seperti pemerintah, masyarakat, dan lembaga terkait, dalam pengambilan keputusan dan pelaksanaan tindakan mitigasi banjir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan terbangun di DAS Marikurubu, Kota Ternate mengalami pertambahan luasan setiap pada periode tahun 2003-2013-2023, berbeda dengan kelas tutupan lahan lainnya yang mengalami penurunan luasan. Keberadaan DAS Marikurubu yang berada di pusat Kota Ternate, laju pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi yang meningkat membuat lahan terbangun di DAS Marikurubu semakin meningkat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa salah satu faktor yang menyebabkan banjir di Kecamatan Kota Ternate Tengah yakni sekitar DAS Marikurubu yaitu konversi tutupan lahan lainnya menjadi lahan terbangun yang tidak terkendali.

Berdasarkan hasil penelitian tentang perubahan tutupan lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate, berikut adalah beberapa saran dan masukan yang bisa diberikan kepada pemerintah lokal/daerah diantaranya yaitu menerapkan perencanaan tata guna lahan yang terpadu, melakukan rehabilitasi dan pelestarian hutan, meningkatkan pengelolaan drainase, meningkatkan kesadaran masyarakat, membentuk forum atau kelompok kerja, membangun sistem pemantauan dan peringatan dini banjir dan mengintegrasikan aspek lingkungan dalam kebijakan dan perencanaan. Melalui implementasi saran-saran ini, diharapkan pemerintah daerah dapat mengurangi risiko banjir di DAS Marikurubu, Kota Ternate, dan meningkatkan keberlanjutan hidrologi serta kehidupan masyarakat di wilayah tersebut.

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/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.28>
- Badan Standarisasi Nasional. (2010). *SNI 7645-2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan*.
- Calderón-Loor, M., Hadjikakou, M., & Bryan, B. A. (2021). High-resolution wall-to-wall land-cover mapping and land change assessment for Australia from 1985 to 2015. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112148>
- Chuang, M.-T., Chen, T.-L., & Lin, Z.-H. (2020). A review of resilient practice based upon flood vulnerability in New Taipei City, Taiwan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 101494. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101494>
- Heinrich Rakuasa, Daniel A Sihasale, Marhelin C Mehdila, A. P. W. (2022). Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Banjir di Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kota Ambon. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing (JGRS)*, 3(2), 60–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i2.80>
- Heinrich Rakuasa, Glendy Somae, P. C. L. (2023). Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Desa Batumerah Kecamatan Sirimau Kota Ambon Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(4), 1642–1653. <https://doi.org/https://doi.org/10.56799/jim.v2i4.1475>
- Hu, X., Huang, B., Veronesi, F., Cavaletto, O., & Cherubini, F. (2021). Overview of recent land-cover changes in biodiversity hotspots. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(2), 91–97. <https://doi.org/10.1002/fee.2276>
- Jafarpour Ghalehtemouri, K., Shamsoddini, A., Mousavi, M. N., Binti Che Ros, F., & Khedmatzadeh, A. (2022). Predicting spatial and decadal of land use and land cover change using integrated cellular automata Markov chain

- model based scenarios (2019–2049) Zarriné-Rūd River Basin in Iran. *Environmental Challenges*, 6, 100399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100399>
- Kang, C. S., & Kanniah, K. D. (2022). Land use and land cover change and its impact on river morphology in Johor River Basin, Malaysia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101072. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101072>
- Kisamba, F. C., & Li, F. (2022). Analysis and modelling urban growth of Dodoma urban district in Tanzania using an integrated CA–Markov model. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10617-4>
- Kusumo, P., & Nursari, E. (2016). Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis pada DAS Cidurian Kab. Serang, Banten. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 1(1), 29–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.30998/string.v1i1.966>
- Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2032). Identification of Flood-Prone Areas Using the Topographic Wetness Index Method in Fena Leisela District, Buru Regency. *Journal Basic Science and Technology*, 12(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.35335/jbst.v12i1.3673>
- Latue, P. C., Imanuel Septory, J. S., Somae, G., & Rakuasa, H. (2023). Pemodelan Daerah Rawan Banjir di Kecamatan Sirimau Menggunakan Metode Multi-Criteria Analysis (MCA). *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 18(1), 10–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.29313/jpwk.v18i1.1964>
- 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, P. C & Rakuasa, H. (2023). Analisis Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah Menggunakan Google Earth Engine Berbasis Cloud Computing. *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal Of Innovation Technology)*, 4(1), 16–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.35970/e-joint.v4i1.1901>
- 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>
- Latue, P. C., Rakuasa, H., & Sihasale, D. A. (2023). Analisis Kerapatan Vegetasi Kota Ambon Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2 dengan Metode MSARVI Berbasis Machine Learning pada Google Earth Engine. *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, 2(2), 68–77. <https://doi.org/10.56211/sudo.v2i2.270>
- Mehdil, M. C., Rakuasa, H., Sihasale, D. A., & Riry, R. B. (2022). PEMETAAN SEBARAN OBJEK WISATA BAHARI DI PULAU AMBON MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS. *Jurnal Environmental Science*, 4(2). <https://doi.org/10.35580/jes.v4i2.32464>
- 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>
- Muin, A., Somae, G., & Rakuasa, H. (2023). Analisis Potensi Genangan Banjir di Kecamatan Siwalalat, Kabupaten Seram Bagian Timur berdasarkan Topographic Wetness Index. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(5), 1800–1806. <https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.56799/jim.v2i5.1502>
- Munthali, M. G., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S. K., & Davis, N. (2020). Modelling land use and land cover dynamics of Dedza district of Malawi using hybrid Cellular Automata and Markov model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100276>
- Pakniyany, Y., Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Pemetaan Daerah Rawan Longsor di Kecamatan Damer, Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. *Jurnal Altifani Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 235–242. <https://doi.org/https://doi.org/10.25008/altifani.v3i2.367>
- 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>
- Philia Christi Latue, & Heinrich Rakuasa. (2023). Spatial Dynamics of Land Cover Change in Wae Batu Gantung Watershed, Ambon City, Indonesia. *International Journal of Scientific Multidisciplinary Research*, 1(3), 117–130. <https://doi.org/10.55927/ijsmr.v1i3.3623>
- Pravitasari, A. E., Rustiadi, E., Adiwibowo, S., Wardani, I. K., Kurniawan, I., & Murtadho, A. (2020). Dinamika dan Proyeksi Perubahan Tutupan Lahan serta Inkonsistensi Tata Ruang di Wilayah Pegunungan Kendeng. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 4(2), 99–112. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2020.4.2.99-112>
- Rakuasa, H., & Pakniyany, 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., Helwend, J. K., & Sihasale, D. A. (2022). Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Kota Ambon Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 19(2), 73–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/jg.v19i2.34240>
- Rakuasa, H., Salakory, M., & Latue, P. C. (2022). Analisis dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Model <https://doi.org/10.56211/tabela.v1i2.301>

- Celular Automata-Markov Chain di DAS Wae Ruhu Kota Ambon. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 285–295. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.9>
- Rakuasa, H., Tambunan, M. P., & Tambunan, R. P. (2021). Analisis Sebaran Spasial Tingkat Kejadian Kasus Covid-19 Dengan Metode Kernel Density di Kota Ambon. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 18(2), 76–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/jg.v18i2.28234>
- 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., & Pertuack, S. (2023). Pola Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah, Kota Ternate Tahun 2013 dan 2023 Menggunakan Google Earth Engine. *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, 2(2), 78–85. <https://doi.org/10.56211/sudo.v2i2.271>
- 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>
- Rumihin, A., Djajadi, R., & Kusumastuti, C. (2015). Analisis Banjir Di DAS Wai Ruhu Dan Wai Batu Merah, Ambon. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 4(1).
- Sapena, M., & Ruiz, L. Á. (2019). Computers , Environment and Urban Systems Analysis of land use / land cover spatio-temporal metrics and population dynamics for urban growth characterization. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73(August 2018), 27–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.08.001>
- Sarihi, Y. R., Tilaar, S., & Rengkung, M. M. (2020). Analisis penggunaan lahan di Pulau Ternate. *Spasial*, 7(3), 259–268.
- Sisi Febriyanti Muin, Rizaldi Boer, Y. S. (2015). Pemodelan Banjir dan Analisis Kerugian Akibat Bencana Banjir di DAS Citarum Hulu. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 39(2), 75–84.
- Somae, G., Supriatna, S., Rakuasa, H., & Lubis, A. R. (2023). PEMODELAN SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN PREDIKSI TUTUPAN LAHAN KECAMATAN TELUK AMBON BAGUALA MENGGUNAKAN CA-MARKOV. *Jurnal Sains Informasi Geografi (J SIG)*, 6(1), 10–19. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31314/jsig.v6i1.1832>
- Sugandhi, N., Rakuasa, H., Zainudin, Z., Abdul Wahab, W., Kamiludin, K., Jaelani, A., Ramdhani, R., & Rinaldi, M. (2023). Pemodelan Spasial Limpasan Genangan Banjir dari DAS Ciliwung di Kel. Kebon Baru dan Kel. Bidara Cina DKI Jakarta. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(5), 1685–1692. <https://doi.org/https://doi.org/10.56799/jim.v2i5.1477>
- Sugandhi, N., Rakuasa, H., Zainudin, Z., Wahab, W. A., Kamiludin, K., Jaelani, A., ... & Rinaldi, M. (2023). Pemanfaatan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Untuk Pemetaan Penggunaan Lahan di Sekitar Waduk Pondok Ranggon, Provinsi DKI Jakarta. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(7), 3109–3118. <https://doi.org/https://doi.org/10.56799/jim.v2i7.1741>
- Tariq, A., Mumtaz, F., Majeed, M., & Zeng, X. (2023). Spatio-temporal assessment of land use land cover based on trajectories and cellular automata Markov modelling and its impact on land surface temperature of Lahore district Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 114. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10738-w>
- 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>
- 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, 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>
- Yan, H., Fernandez, A., Zhu, D. Z., Zhang, W., Loewen, M. R., van Duin, B., Chen, L., Mahmood, K., Zhao, S., & Jia, H. (2022). Land cover based simulation of urban stormwater runoff and pollutant loading. *Journal of Environmental Management*, 303, 114147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114147>