DINAMIKA PERUBAHAN PEMANFAATAN LAHAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP DEBIT AIR LIMPASAN PERMUKAAN (*RUNOFF*) DI DAS WAILELA

DYNAMICS OF LAND USE CHANGE AND ITS IMPACT ON SURFACE RUNOFF DISCHARGE IN WAILELA WATERSHED

Oleh
Verend. A. Veerman,[1)] Aryanto Boreel,[2)] Pieter.Thomas. Berhitu[3)]
[1,3)]Prodi PWK, Jurusan Teknik Industri, Unpatti
Prodi Pengelolaan Hutan, Jurusan Kehutanan, Unpatti
Jl. Ir. M Putuhena, Kampus Poka Ambon, Kode Pos.97233

Diterima: 25 Maret 2025	Direview:26 Maret 2025	Direvisi:2 April 2025	Dipublish:30 April 2025

Abstrak

Pertumbuhan populasi yang terjadi menyebabkan peningkatan kebutuhan lahan untuk permukiman sehingga memicu terjadinya alih fungsi lahan. Perubahan ini berdampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya adalah meningkatnya debit air limpasan permukaan (*runoff*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika perubahan pemanfaatan lahan dan dampaknya terhadap debit air limpasan permukaan (*runoff*) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wailela. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis spasial dengan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG), *cellular automata* dan metode rasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat dua kelas yang mengalami peningkatan luasan terbesar, yaitu area bervegetasi dan permukiman. Hasil uji akurasi prediksi pemanfaatan lahan tahun 2023 di DAS Wailela menunjukkan nilai akurasi sebesar 93%, dan prediksi pemanfaatan lahan hingga tahun 2044 menunjukkan bahwa kelas pemanfaatan lahan permukiman akan mengalami peningkatan luasan. Hasil perhitungan debit *runoff* harian menunjukkan bahwa akan mengalami kenaikkan debit pada periode 2023-2044 dari 50,99 m^3/s menjadi 52,62 m^3/s.
Kata kunci: *Perubahan pemanfaatan lahan, Cellular automata, Debit runoff, SIG, DAS*

Abstract

The population growth that has occurred has led to an increased demand for land for settlements, thereby triggering land use conversion. This change has a negative impact on the environment, one of which is the increase in surface runoff. This study aims to analyze the dynamics of land use change and its impact on surface runoff in the Wailela Watershed (DAS). The methods used in this study include spatial analysis with a Geographic Information System (GIS) approach, cellular automata, and the rational method. The analysis results show that there are two land use classes with the largest area increase: vegetated areas and settlements. The land use prediction accuracy test for the year 2023 in the Wailela Watershed shows an accuracy rate of 93%, and the land use prediction up to the year 2044 indicates that the area of settlement land use will continue to increase. The results of daily runoff discharge calculations show an increase in runoff from 50.99 m^3/s in 2023 to 52.62 m^3/s in 2044.
Key words: *Land Use Change, Cellular Automata, Runoff Discharge, GIS, Watershed*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk memiliki dampak secara langsung terhadap pembangunan terutama di wilayah perkotaan. Pertumbuhan penduduk perkotaan menyebabkan meningkatnya permintaan lahan untuk permukiman sehingga berdampak pada perubahan penggunaan lahan di wilayah kota dan sekitarnya (Sudarto, 2009). Perubahan yang terjadi jika tidak mengikuti prinsip keberlanjutan lingkungan dapat menimbulkan konsekuensi negatif seperti punahnya spesies (Novalia, 2019), perubahan iklim dan bencana alam (Wahyuni & Suranto, 2021).

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu sumberdaya lahan yang berpotensi mengalami tekanan akibat perkembangan pembangunan dan pertumbuhan penduduk. Perkembangan pembangunan menjadi penyebab konversi lahan dari hutan menjadi permukiman. Perubahan tersebut mengakibatkan dampak negatif terhadap DAS seperti banjir, kekeringan, erosi, sedimentasi dan abrasi (Fauzi et al., 2018). Di Indonesia, banyak DAS mengalami penurunan fungsi ekologis meskipun upaya rehabilitasi telah dilakukan (Tarigan, 2009 *dalam* Fadhil et al., 2021).

DOI: 1030598/jhppk.v9i1.19385
ISSN ONLINE : 2621-8798

DAS Wailela di Kota Ambon, yang secara administratif berada di Negeri Rumah Tiga juga menghadapi ancaman serupa. Berdasarkan jumlah penduduk Negeri Rumah Tiga pada Kecamatan Teluk Ambon dalam Angka 2018-2022, jumlah penduduk Negeri Rumah Tiga dari tahun 2017-2021 mengalami pertambahan jumlah penduduk sebesar 423 jiwa dan cenderung akan mengalami peningkatan tiap tahunnya. Pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan keberadaan infrastruktur Jembatan Merah Putih (JMP) menjadi pemicu terjadinya alih fungsi lahan di Kecamatan Teluk Ambon. Studi Latue et al., (2023) mengungkapkan bahwa di Kecamatan Teluk Ambon, terjadi peningkatan tutupan lahan terbangun dari tahun 2015-2023 dengan total peningkatan sebesar 109,76 ha. Terjadinya alih fungsi lahan pada kawasan DAS dapat menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan sehingga mengakibatkan DAS menjadi sangat rawan longsor dan erosi pada kawasan hulu dan sangat rawan terjadinya genangan sampai dengan banjir pada kawasan hilir (Ramadhan & Susetyo, 2020).

Salah satu masalah utama di DAS Wailela yaitu banjir. Banjir yang terjadi disebabkan karena ketidakmampuan sungai untuk menampung debit air limpasan permukaan (*runoff*) dari curah hujan yang tinggi. Besarnya debit *runoff* yang dihasilkan tergantung pada tutupan lahan di wilayah tersebut (Sudarto, 2009). Hal ini disebabkan oleh perbedaan kemampuan tutupan lahan dalam menyerap air sehingga apabila berubah menjadi tutupan lahan dengan daya serap rendah maka dapat meningkatkan besarnya *runoff*. Tahun 2011, kejadian banjir akibat meluapnya Sungai Wailela pernah terjadi. Kejadian tersebut menyebabkan warga yang mengungsi terserang berbagai penyakit seperti ISPA, gatal-gatal dan diare (ANTARA News, 2011). Selain itu pada tanggal 08 Juli 2022, kejadian banjir juga terjadi akibat meluapnya Sungai Wailela. Menurut TVOne News, (2022), ketinggian air Sungai Wailela pada saat itu yaitu sebesar 15 meter dan berdasarkan data curah hujan dari Balai Wilayah Sungai Maluku, curah hujan pada saat itu yaitu sebesar 218,4 mm.

Mengacu pada kondisi yang terjadi saat ini, maka perlu dilakukannya simulasi pertumbuhan lahan di DAS Wailela. Proses simulasi berperan dalam identifikasi dinamika pemanfaatan lahan di wilayah tersebut. Metode simulasi yang digunakan adalah *cellular automata* (CA) berbasis grid. CA merupakan metode yang efektif untuk mengkaji pola perubahan dalam suatu sistem (Ramadhan & Susetyo, 2020). Simulasi akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Landusesim*, yang dikenal memiliki akurasi tinggi dan juga mampu mengintegrasikan pendekatan dari atas ke bawah dan bawah ke atas serta melakukan simulasi spasial berbasis *trend* maupun target (Pratomoatmojo, 2014 *dalam* Ramadhan & Susetyo, 2020). Selain itu juga, akan dilakukan perhitungan debit *runoff* menggunakan metode rasional yang melibatkan karakteristik DAS seperti pemanfaatan lahan, intensitas hujan dan luas DAS.

Berdasarkan persoalan yang telah dipaparkan, maka penelitian berjudul "Dinamika Perubahan Pemanfaatan Lahan dan Dampaknya Terhadap Debit Air Limpasan Permukaan (*Runoff*) di DAS Wailela" menjadi penting dilakukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial. Pendekatan deskriptif bertujuan untuk menggambarkan dan menjelaskan transformasi pemanfaatan lahan dan dampaknya terhadap debit air limpasan permukaan (*runoff*) di DAS Wailela. Selain itu, analisis spasial juga diterapkan untuk memetakan distribusi konversi lahan yang terjadi. Berikut ini merupakan tahapan analisis data yang dipakai dalam penelitian ini.

Analisis konversi lahan

Langkah pertama dalam menganalisis konversi lahan yaitu melakukan klasifikasi pemanfaatan lahan untuk tahun 2012 dan 2023. Setelah melakukan klasifikasi, selanjutnya dilakukan pengecekan lapangan untuk memastikan keakuratan hasil klasifikasi dengan situasi aktual di lapangan. Pemilihan titik sampel untuk pengecekan lapangan menggunakan teknik *stratified random sampling*, dimana sampel disebar secara acak di setiap kelas pemanfaatan lahan. Setelah pengecekan lapangan, tahap selanjutnya adalah pengujian dengan memanfaatkan matriks konfusi (*confusion matrix*) dan dilanjutkan dengan perhitungan *User's Accuracy*, *Producer's Accuracy*, *Overall Accuracy* dan *Kappa Accuracy*.

Tabel 1. Matriks konfusi (*Confusion Matrix*)

Kelas PL		Hasil Pengecekan Lapangan		
		PL 1	PL 2	Total
Hasil Interpretasi	PL 1	A11	A12	A11+A12 (A_{1+})
	PL 2	A21	A22	A21+A22 (A_{2+})
Total		A11+A21 (A_{+1})	A12+A22 (A_{+2})	A11+A12+A21+A22

$$User\ accuracy = \frac{A_{ii}}{A_{i+}} \quad (1)$$

Keterangan:
Aii : Nilai pixel yang diklasifikasikan dengan benar pada setiap kategori
Ai+ : Jumlah pixel per baris

$$Producer'accuracy = \frac{A_{ii}}{A_{+i}} \quad (2)$$

Keterangan:
Aii : Nilai pixel yang diklasifikasikan dengan benar pada setiap kategori
A+i : Jumlah pixel per kolom

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^{k} A_{ii}}{N} \quad (3)$$

Keterangan:
$\sum_{i=1}^{k} A_{ii}$: Jumlah pixel yang diklasifikasikan dengan benar pada setiap kategori atau jumlah pixel diagonal
N : Jumlah seluruh pixel sampel

$$\hat{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{k} A_{ii} - \sum_{i=1}^{k}(A_{i+} \times A_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{k}(A_{i+} \times A_{+i})} \quad (4)$$

Keterangan:
N : Jumlah pixel yang diambil
∑Aii : Jumlah pixel yang benar
Ai+ : Jumlah per baris
A+i : Jumlah pixel per kolom

Koefisien kappa menunjukkan nilai dalam interval 0 hingga 1. Klasifikasi dapat dipercaya jika memenuhi kriteria ketelitian klasifikasi lebih dari 85% menurut USGS dan nilai kappa lebih dari 0,8 atau 80% (Yulien et al., 2021). Setelah memenuhi syarat uji kappa dan *overall accuracy*, selanjutnya dilakukan *overlay* untuk mendapatkan nilai perubahan masing-masing kelas pemanfaatan lahan.

DOI: 1030598/jhppk.v9i1.19385
ISSN ONLINE : 2621-8798

Prediksi Pemanfaaran Lahan

Analisis prediksi pemanfaatan lahan menggunakan *cellular automata* di LanduseSIM 2.3.1. Dalam analisis ini diperlukan data seperti nilai *growth cell* yang didapat dari hasil analisis konversi lahan tahun 2012-2023, peta transisi yang didapat dari hasil analisis regresi logistik kemudian diolah pada *raster calculator* di ArcGIS 10.8, peta *constrain* didapat dari hasil *overlay* antara daerah rawan banjir, kemiringan lereng >25%, hutan lindung, sempadan sungai dan TPU, *neighborhood filter* 3x3, elastisitas perubahan dan aturan transisi. Analisis ini akan menghasilkan model pemanfaatan lahan hingga tahun 2044 di DAS Wailela. Hasil prediksi pemanfaatan lahan tahun 2023 akan dilakukan uji validasi dengan pemanfaatan lahan eksisting tahun 2023. Dari hasil validasi, tingkat akurasi antara peta pemanfaatan lahan simulasi tahun 2023 dengan pemanfaatan lahan eksisting tahun 2023 kesalahannya tidak melebihi 20% atau persentase kebenaran harus melebihi 80% (Sugiarto, 2018). Pada *software* LanduseSim 2.3.1, proses validasi model dapat dilakukan dengan menggunakan *tools map comparison* (Arifah, 2018).

Debit Air Limpasan Permukaan (*Runoff*)

Perhitungan debit air limpasan dilakukan dengan menggunakan metode rasional. Dalam perhitungannya melibatkan nilai intensitas hujan, luasan *catchment area* dan koefisien limpasan. Perhitungan intensitas hujan dilakukan dengan metode mononobe dengan persamaan sebagai berikut.

$$I = (\frac{R_{24}}{24})(\frac{24}{T})^{2/3} \quad (5)$$

Keterangan:

I : Intensitas Hujan Rencana (mm/jam)
R_{24} : Tinggi Hujan Harian Maksimum (mm/hari)
T : Durasi Hujan (jam)

Perhitungan koefisien limpasan dapat dilakukan dengan persamaan di bawah ini.

$$C_{Total} = \frac{\sum C_i A_i}{Ai} \quad (6)$$

Keterangan:

C_{total} : Total Koefisien Limpasan
A_i : Luas daerah (ha)
C_i : Nilai Koefisien Limpasan (dapat dilihat pada Tabel 2.)

Tabel 2. Nilai Koefisien Limpasan (C)

No	Penggunaan Lahan	C
1	Permukiman	0,65
2	Area Bervegetasi	0,15
3	Fasilitas Umum	0,95
4	Perdagangan dan Jasa	0,9
5	Lahan Terbuka	0,45
6	Badan Air	0,9
7	TPU	0,2

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2009, Asdak, (2022), Madhatillah & Har, (2020) dan Ramadhan & Susetyo, (2020)

Perhitungan debit air limpasan permukaan dilakukan dengan persamaan di bawah ini.

$$Q = 0{,}00278 \times C \times I \times A \quad (7)$$

Keterangan:

Q : Debit Puncak Limpasan Permukaan (m^3/detik)
C : Angka Pengaliran/ Koefisien Limpasan
I : Intensitas Curah Hujan (mm/jam)
A : Luas Daerah Pengaliran (ha)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konversi Lahan

Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan untuk mempersempit area penelitian sehingga mempermudah proses pengolahan dan klasifikasi citra. Proses ini dilakukan dengan mengeliminasi beberapa area yang tidak digunakan sehingga hanya berfokus pada area penelitian saja. Proses ini dilakukan dengan bantuan *extract by mask* pada Arcgis 10.8.

Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra dilakukan menggunakan teknik digitasi *on screen* di ArcGIS 10.8. Dari hasil interpretasi citra, diperoleh hasil bahwa pada lokasi penelitian terdapat kelas pemanfaatan lahan permukiman, area bervegetasi, fasilitas umum, perdagangan dan jasa, lahan terbuka, badan air dan tempat pemakaman umum (TPU).

Uji Akurasi

Pada penelitian ini, uji akurasi bertujuan untuk mengkonfirmasi hasil klasifikasi merepresentasikan situasi aktual di lapangan. Tahapan uji akurasi diawali dengan penyebaran sampel secara acak pada setiap kelas pemanfaatan lahan. Titik sampel dalam penelitian ini berjumlah 50. Dari total 50 titik, hanya 19 titik yang dapat dijangkau sedangkan 31 titik lainnya tidak dapat dijangkau. Sebagai alternatif, 31 titik tersebut dilakukan pengecekan dengan pendekatan citra resolusi tinggi yang bersumber dari *google earth pro*. Hasil pengecekan lapangan menunjukkan bahwa 49 titik sesuai dengan hasil klasifikasi sedangkan 1 titik tidak sesuai. Setelah mendapatkan titik yang sesuai dan tidak sesuai, selanjutnya dilakukan pengujian ketelitian dengan menggunakan matriks konfusi (*confusion matrix*).

Tabel 3. Matriks konfusi (*Confusion Matrix*)

Kelas PL	P	AB	FU	PJ	LT	BA	TPU	Total	UA	CE
P	1							1	1	0
AB		44						44	1	0
FU			1					1	1	0
PJ				1				1	1	0
LT		1			0			1	0	1
BA						1		1	1	0
TPU							1	1	1	0
Total	1	45	1	1	0	1	1	50		
PA	1	0,98	1	1	#DIV/0!	1	1			
OE	0	0,02	0	0	#DIV/0!	0	0			
Kappa	0,90									
OA	0,98									

Keterangan : P=Permukiman, AB=Area Bervegetasi, FU=Fasilitas Umum, PJ=Perdagangan dan Jasa, LT=Lahan Terbuka, BA=Badan Air, TPU=Tempat Pemakaman Umum, UA=User Accuracy, PA=Producer Accuracy, CE=Commision Error, OE=Ommision Error

Tidak Sesuai Sesuai

Dari Tabel 3, terlihat bahwa nilai *overall accuracy* mencapai 0,98 (98%) dan koefisien kappa sebesar 0,90 (90%). Menurut Yulien et al., (2021), klasifikasi dianggap dapat dipercaya jika memenuhi kriteria ketelitian klasifikasi lebih dari 85% menurut USGS dan nilai kappa lebih dari 0,8 atau 80%. Karena

nilai *overall accuracy* dan kappa dalam penelitian ini telah melampaui standar yang ditetapkan maka dapat disimpulkan bahwa hasil klasifikasi penggunaan lahan 2023 dapat dipercaya.

Selanjutnya untuk mengestimasi kontribusi setiap kelas pemanfaatan lahan di area studi maka dilakukan perhitungan kesalahan penghilangan (*omission error*), kesalahan penambahan (*commission error*), akurasi pengguna (*user accuracy*) dan akurasi pembuat (*producer accuracy*). Menurut Thernando, et. al (2020) *dalam* Papilaya et al., (2023), *omission error* adalah kesalahan yang terjadi akibat penghilangan sampel dan *commission error* adalah kesalahan yang disebabkan oleh penambahan sampel. *User accuracy* mengukur akurasi dari perspektif pengguna peta sedangkan *producer accuracy* mengukur akurasi dari sudut pandang pembuat peta.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, kelas pemanfaatan lahan permukiman, area bervegetasi, fasilitas umum, perdagangan dan jasa, badan air serta TPU menunjukkan nilai akurasi pengguna sebesar 100% dengan kesalahan penambahan sebesar 0%. Di sisi lain, lahan terbuka memiliki nilai akurasi pengguna terendah yaitu 0% dengan kesalahan penambahan sebesar 100%. Untuk akurasi pembuat, kelas pemanfaatan lahan permukiman, fasilitas umum, perdagangan dan jasa, badan air serta TPU memiliki nilai 100% dengan kesalahan penghilangan sebesar 0%. Kelas penggunaan lahan area bervegetasi memiliki akurasi pembuat sebesar 98% dengan kesalahan penghilangan sebesar 2% sedangkan lahan terbuka mencatat nilai akurasi pembuat terendah yaitu 0% dengan kesalahan penghilangan juga sebesar 0%.

Analisis Konversi Lahan

Analisis konversi lahan berfokus untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi di DAS Wailela seiring berjalannya waktu. Proses ini diimplementasikan dengan menggunakan sistem informasi geografis (SIG) dan mengaplikasikan teknik *overlay* (Setiawan, 2021). Hasil analisis tersebut menunjukkan adanya konversi lahan di DAS Wailela, yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Konversi lahan di DAS Wailela Tahun 2012-2023

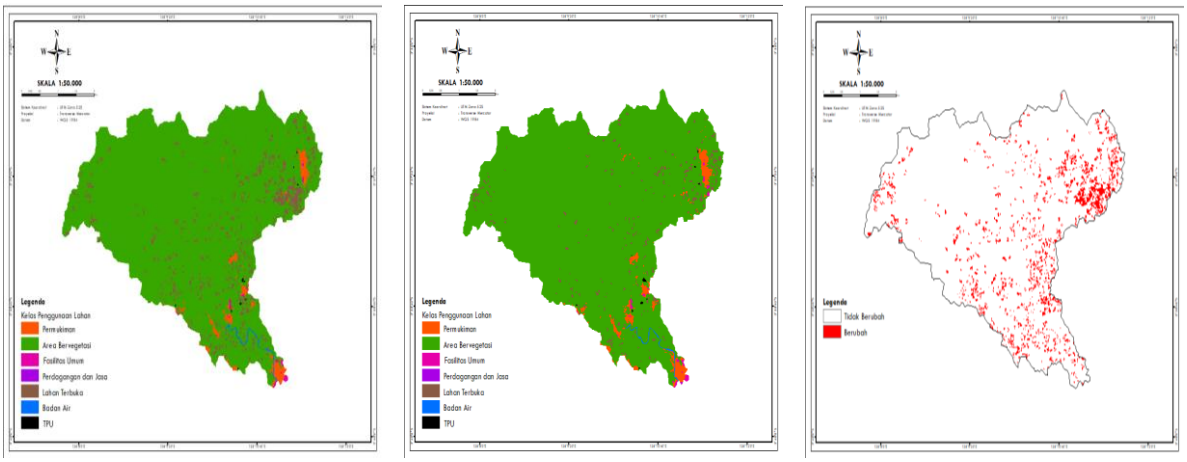
Kelas PL	P	AB	FU	PJ	LT	BA	TPU	Total
P	41,49	0,19	0,07	0,14				41,88
AB	10,99	1892,90	0,77	0,02	29,84		0,29	1934,81
FU			5,33					5,33
PJ				0,03				0,03
LT	1,23	102,26	0,21		11,35		0,08	115,13
BA	0,09	1,14				4,82		6,06
TPU							1,31	1,31
Total	53,80	1996,49	6,38	0,19	41,19	4,82	1,67	2104,54

Tabel 4 menunjukkan bahwa kelas pemanfaatan lahan yang mengalami transformasi paling besar adalah dari lahan terbuka menjadi area bervegetasi dengan luas mencapai 102,26 ha. Selain itu, terdapat perubahan dari area bervegetasi menjadi lahan terbuka seluas 29,84 ha dan dari area bervegetasi menjadi permukiman seluas 10,99 ha. Perubahan dari lahan terbuka menjadi area bervegetasi diduga disebabkan oleh masyakarat setempat yang memanfaatkan kembali lahan kosong menjadi perkebunan. Selain itu, pertumbuhan vegetasi secara alami di DAS Wailela juga berkontribusi terhadap perubahan ini. Penelitian oleh Uhl et al., 1981 dan Setiawan, 2021 *dalam* Boreel et al., (2024) mendukung hal ini, yang menyatakan bahwa vegetasi baru memerlukan waktu selama 4 bulan untuk tumbuh kembali di lahan yang terbuka atau terdegradasi, diikuti pertumbuhan cepat rumput dan tanaman berkayu.

Perubahan pemanfaatan lahan dari area bervegetasi menjadi lahan terbuka diduga terjadi karena masyarakat ingin memanfaatkan lahan tersebut untuk pembangunan permukiman maupun perkebunan

di DAS Wailela. Sementara itu, peralihan dari area bervegetasi menjadi permukiman disebabkan oleh pertumbuhan penduduk di DAS Wailela. Berdasarkan data penduduk Kecamatan Teluk Ambon tahun 2012 hingga 2021, Kecamatan Teluk Ambon mengalami peningkatan jumlah penduduk sebesar 8.613 penduduk dengan rata-rata pertumbuhan penduduk sebesar 957 penduduk. Pertumbuhan penduduk ini meningkatkan kebutuhan akan lahan untuk tempat tinggal sehingga mendorong munculnya permukiman baru. Hal ini didukung oleh pendapat Kusrini et al., 2011 *dalam* Nurrahma et al., (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan kebutuhan lahan karena pertumbuhan populasi berkontribusi pada konversi lahan pertanian menjadi non pertanian.

Keberadaan Jembatan Merah Putih (JMP) juga memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan permukiman di Kecamatan Teluk Ambon. Dengan adanya JMP, Kecamatan Teluk Ambon menjadi lebih dekat dengan pusat Kota Ambon sehingga menjadi salah satu alasan untuk masyarakat mulai bermigrasi ke wilayah tersebut dan mendorong terbentuknya permukiman baru. Penelitian oleh Rizal & Taryono, (2021) menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh jarak antara tempat tinggal dan pusat kota karena jarak yang dekat memudahkan masyarakat dalam menjalani aktivitas sehari-hari. Selain itu, penelitian Sugiarto, (2018) menyatakan bahwa pembangunan Jembatan Suramadu mendorong terjadinya perubahan tutupan lahan dari vegetasi menjadi lahan terbangun. Selanjutnya, pemanfaatan lahan pada tahun 2012, tahun 2023 dan sebaran konversi lahan di DAS Wailela dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



a. Pemanfaatan Lahan Tahun 2012 b. Pemanfaatan Lahan Tahun 2023 c. Konversi Lahan Tahun 2012-2023

Gambar 1. Peta pemanfaatan lahan Tahun 2012, 2023 dan konversi lahan di DAS Wailela

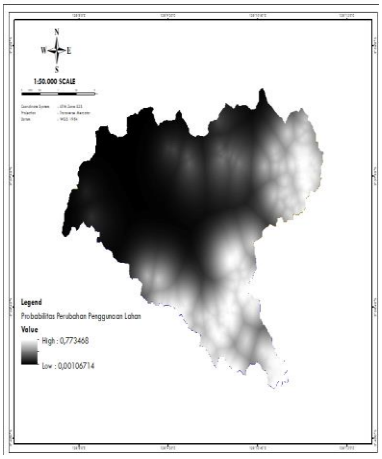
A. Prediksi Pemanfaatan Lahan di DAS Wailela Hingga Tahun 2044

Prediksi pemanfaatan lahan dilakukan menggunakan teknik *cellular automata* yang merupakan elemen penting dalam pengembangan model pemanfaatan lahan hingga tahun 2044. Dalam analisis ini, diperlukan pembuatan peta probabilitas konversi lahan, penentuan *neighborhood filter*, *constrain zone* dan *constrain variable*. Dalam penelitian ini, peta probabilitas konversi lahan dihasilkan dari analisis regresi logistik biner dan kemudian diolah menggunakan ArcGIS 10.8. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk memetakan probabilitas konversi lahan di DAS Wailela.

$$P(y = 1 \mid X) = \frac{\exp\,(1{,}228 - 0{,}003X_1 - 0{,}001X_5)}{1 + \exp\,(1{,}228 - 0{,}003X_1 - 0{,}001X_5)} \quad (8)$$

Keterangan:
P : Probabilitas variabel terikat
X1 : Kedekatan terhadap permukiman eksisting
X5 : Kedekatan terhadap fasilitas umum

Perhitungan tersebut menghasilkan peta probabilitas yang berfungsi sebagai peta transisi dalam memprediksi pemanfaatan lahan. Peta probabilitas yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki nilai berkisar antara 0,00106714 hingga 0,773468 yang menunjukkan peluang terjadinya konversi lahan. Semakin besar angka probabilitas maka semakin besar juga kemungkinan terjadinya konversi lahan sedangkan semakin dekat nilai ke angka 0 maka peluang konversi lahan akan semakin kecil. Berikut ini adalah peta probabilitas konversi lahan di DAS Wailela.



Gambar 2. Probabilitas konversi lahan di DAS Wailela

Dalam penelitian ini digunakan *neighborhood filter* ukuran 3x3 dengan operasi *sum*. Menurut Amujal, (2015) *dalam* Syafitri, (2017), *neighborhood filter* 3x3 merupakan sistem ketetanggaan yang memberikan hasil paling akurat dalam model pertumbuhan kota karena kecenderungan filter ini lebih fokus untuk mendekati faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan. *Neighborhood filter* 3x3 tersusun dari 3 baris dan 3 kolom grid sehingga terdapat 9 grid dalam satu sel. Operasi *sum* digunakan untuk mensimulasikan perubahan dengan menghitung total hasil perkalian antara *neighborhood filter*, *suitability maps* dan *transition potential conversion*.

Zona pembatas (*constrain zone*) yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup kemiringan lereng lebih dari 25%, daerah rawan banjir, hutan lindung, TPU dan sempadan sungai. Hal ini sesuai dengan karakteristik lokasi dan kesesuaian lahan permukiman yang diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 41/PRT/M/2007. Zona pembatas bertujuan untuk memberikan batasan terhadap area yang berpotensi berkembang seperti permukiman. Dengan adanya batasan ini, dalam proses simulasi pemanfaatan lahan, pengembangan permukiman akan dibatasi agar tidak terjadi di area yang telah ditentukan.

Selain *constrain zone*, perlu juga ditentukan *constrain variable*. *Constrain variable* befungsi untuk membatasi perkembangan suatu kelas pemanfaatan lahan ke kelas pemanfaatan lainnya sehingga perkembangan tersebut akan mencari lokasi lain yang lebih sesuai. Dalam penelitian ini yang menjadi *constrain variable* yaitu fasilitas umum, perdagangan dan jasa, badan air serta TPU. Dengan demikian, dalam proses simulasi, keempat kelas pemanfaatan lahan tersebut tidak akan berkembang sedangkan kelas pemanfaatan lahan lainnya dibiarkan berubah secara alami.

Uji akurasi model adalah langkah krusial dalam pemodelan yang bertujuan untuk menilai tingkat ketepatan model prediksi sehingga dapat diketahui persentase kebenarannya. Metode validasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah *event validity*, yang melibatkan perbandingan dengan sistem yang sudah ada. Dengan demikian, validasi model pemanfaatan lahan dilakukan dengan membandingkan peta pemanfaatan lahan simulasi tahun 2023 dengan peta pemanfaatan lahan eksisting tahun 2023. Menurut Sugiarto, (2018), hasil uji akurasi harus menunjukkan tingkat kesalahan tidak lebih dari 20% atau dengan kata lain, hasil yang benar harus lebih besar dari 80%. Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian antara peta pemanfaatan lahan simulasi tahun 2023 dan peta pemanfaatan lahan eksisting 2023 mencapai 93%, yang mengindikasikan bahwa model yang dikembangkan dalam penelitian ini sangat baik dan dapat diandalkan untuk memprediksi pertumbuhan permukiman di masa depan.

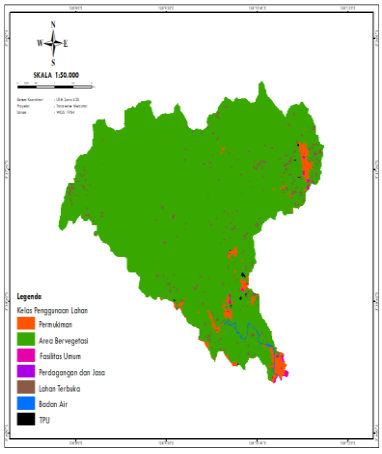
Setelah menyelesaikan tahapan uji akurasi, langkah berikutnya adalah melakukan proses simulasi. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, ditemukan bahwa pemanfaatan lahan di DAS Wailela mengalami perubahan signifikan selama 21 tahun. Terdapat tiga kelas yang mengalami perubahan yaitu permukiman, area bervegetasi dan lahan terbuka. Berikut ini adalah hasil simulasi pemanfaatan lahan di DAS Wailela tahun 2023-2044.

Tabel 5. Hasil simulasi pemanfaatan lahan di DAS Wailela Tahun 2023-2044

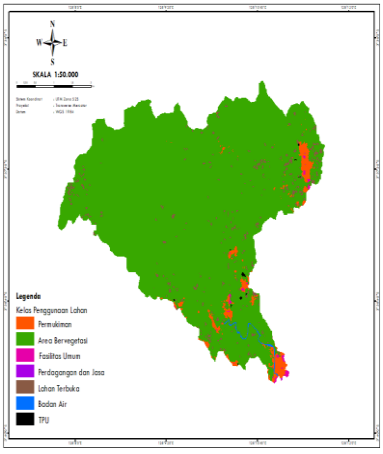
Kelas Penggunaan Lahan	Luas (ha)				
	2024	2029	2034	2039	2044
P	55,93	61,48	67,03	72,58	78,13
AB	1.994,58	1.989,18	1.984,15	1.979,02	1.973,99
FU	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38
PJ	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
LT	40,97	40,82	40,30	39,88	39,35
BA	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
TPU	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
Total	2.104,54	2.104,54	2.104,54	2.104,54	2.104,54

Keterangan : P=Permukiman, AB=Area Bervegetasi, FU=Fasilitas Umum, PJ=Perdagangan dan Jasa, LT=Lahan Terbuka, BA=Badan Air, TPU=Tempat Pemakaman Umum

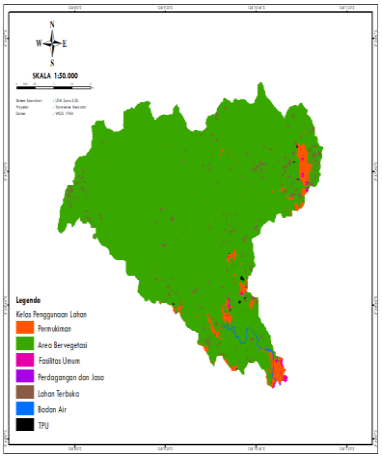
Hasil prediksi pemanfaatan lahan di DAS Wailela menunjukkan bahwa terjadi perubahan pemanfaatan lahan setiap tahunnya. Penurunan luasan terjadi pada kelas pemanfaatan lahan area bervegetasi dan lahan terbuka. Selama periode 2024-2044, area bervegetasi mengalami penurunan luas 20,58 ha sedangkan lahan terbuka berkurang sebesar 1,62 ha. Di sisi lain, kelas pemanfaatan lahan permukiman mengalami peningkatan seluas 22,20 ha. Berikut ini merupakan peta prediksi pemanfaatan lahan di DAS Wailela tahun 2024-2044.



a. Tahun 2024

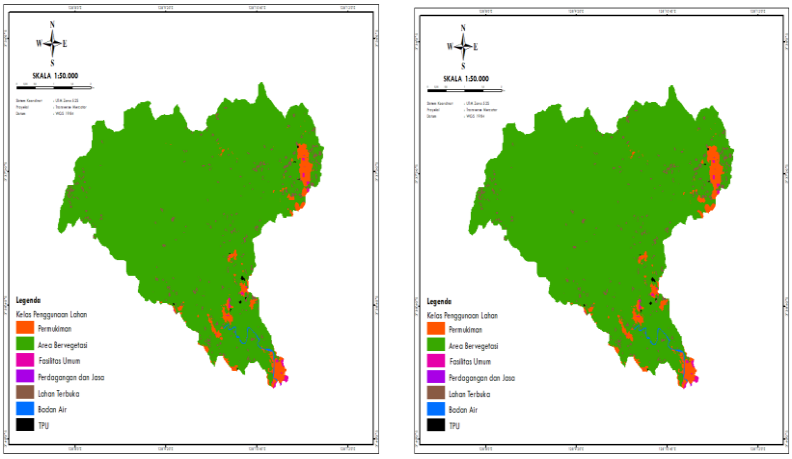


b. Tahun 2029



c. Tahun 2034

DOI: 1030598/jhppk.v9i1.19385
ISSN ONLINE : 2621-8798



d. Tahun 2039 e. Tahun 2044

Gambar 3. Peta prediksi pemanfaatan lahan di DAS Wailela Tahun 2024-2044

B. Debit Air Limpasan di DAS Wailela

Keofisien Limpasan

Koefisien limpasan merupakan nilai perbandingan antara besarnya air limpasan terhadap besarnya curah hujan (Asdak, 2022). Koefisien limpasan menggambarkan besarnya air hujan yang menjadi air limpasan (*runoff*). Menurut Sudarto, (2009), salah satu faktor yang mempengaruhi air limpasan permukaan yaitu penggunaan lahan. Hal ini disebabkan karena vegetasi dapat memperlambat jalannya air limpasan dan memperbesar jumlah air yang tertahan di atas permukaan tanah (Asdak, 2022). Dengan begitu maka setiap jenis penggunaan lahan memiliki nilai koefisiennya masing-masing. Nilai koefisien tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai koefisien untuk DAS Wailela secara keseluruhan. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung nilai C.

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i-1}^{n} C_i A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \quad (9)$$

Keterangan:

C_{DAS} : Koefisien aliran permukaan DAS
C_i : Koefisien aliran permukaan jenis penutup lahan i
A_i : Luas lahan dengan jenis penutup lahan i (ha)
N : Jumlah jenis penutup lahan

Tabel 6. Nilai koefisien limpasan di DAS Wailela Tahun 2023-2044

Tahun	Luas PL (ha)							
	P	AB	FU	PJ	LT	BA	TPU	Total
	C=0,65	C=0,15	C=0,95	C=0,90	C=0,45	C=0,90	C=0,20	
2023	53,80	1996,49	6,38	0,19	41,19	4,82	1,67	2104,54
2024	55,93	1994,58	6,38	0,19	40,97	4,82	1,67	2104,54
2029	61,48	1989,18	6,38	0,19	40,82	4,82	1,67	2104,54
2034	67,03	1984,15	6,38	0,19	40,30	4,82	1,67	2104,54
2039	72,58	1979,02	6,38	0,19	39,88	4,82	1,67	2104,54
2044	78,13	1973,99	6,38	0,19	39,35	4,82	1,67	2104,54
Tahun	CA						∑CA	∑CA/A

	P	AB	FU	PJ	LT	BA	TPU		
2023	34,97	299,47	6,06	0,17	18,54	4,34	0,33	363,88	0,1729
2024	36,35	299,19	6,08	0,16	18,44	4,37	0,33	364,91	0,1734
2029	39,96	298,38	6,08	0,16	18,37	4,37	0,33	367,64	0,1747
2034	43,57	297,62	6,08	0,16	18,14	4,37	0,33	370,26	0,1759
2039	47,17	296,85	6,08	0,16	17,95	4,37	0,33	372,91	0,1772
2044	50,78	296,10	6,08	0,16	17,71	4,37	0,33	375,52	0,1784

Dari perhitungan nilai koefisien limpasan yang dilakukan, didapati hasil bahwa koefisien limpasan akan terus mengalami peningkatan dari 0,1729 pada tahun 2023 menjadi 0,1784 pada tahun 2044. Nilai tersebut memiliki arti bahwa pada tahun 2023, sebanyak 17,29% dari total curah hujan akan menjadi air limpasan dan akan terus mengalami peningkatan hingga tahun 2044 menjadi 17,84% dari total curah hujan akan menjadi air limpasan. Peningkatan koefisien limpasan mengindikasikan bahwa selama periode 2023-2044, persentasi besaran air hujan menjadi air limpasan akan terus mengalami peningkatan.

Intensitas Hujan

Intensitas hujan dianalisis dengan menggunakan metode mononobe. Dalam penelitian ini, akan dilakukan perhitungan intensitas hujan dengan durasi hujan selama 2 jam untuk waktu 1 hari hingga 1 tahun dengan asumsi durasi hujan dan curah hujan sama setiap harinya. Perhitungan intensitas hujan menggunakan metode mononobe seperti di bawah ini.

$$I = (\frac{R_{24}}{24})(\frac{24}{T})^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

Keterangan:
I : Intensitas Hujan Rencana (mm/jam)
R_{24} : Tinggi Hujan Harian Maksimum (mm/hari)
T : Durasi hujan (jam)

Berikut ini merupakan hasil perhitungan intensitas hujan.

Tabel 7. Nilai intensitas hujan

T (Jam)	R24 (mm)	Intensitas Hujan 1 Hari (mm/jam)	Intensitas Hujan 1 Tahun (mm/jam)
2	230,8	50,41	18.398,04

Dari perhitungan intensitas hujan didapati hasil bahwa jumlah curah hujan di DAS Wailela dengan durasi hujan 2 jam selama 1 hari yaitu sebesar 50,41 mm dan jika curah hujan dan durasi hujan yang sama terjadi selama 1 tahun maka jumlah curah hujan sebesar 18.398,04 mm. Setelah mendapatkan nilai tersebut, kemudian dilanjutkan dengan tahapan perhitungan debit *runoff* di DAS Wailela.

Debit Air Limpasan Permukaan (*Runoff*) di DAS Wailela

Dalam penelitian ini, debit *runoff* dihitung berdasarkan hasil model perubahan penggunaan lahan yang telah dilakukan sebelumnya. Debit air limpasan dihitung menggunakan metode rasional dengan komponen berupa koefisien limpasan, intensitas hujan dan luas DAS. Berikut ini merupakan rumus debit *runoff* dengan menggunakan metode rasional.

$$Q = 0{,}00278 \times C \times I \times A \quad (11)$$

Keterangan:
Q : Debit Puncak Limpasan Permukaan (m^3/detik)
C : Angka Pengaliran/ Koefisien Limpasan
I : Intensitas Curah Hujan (mm/jam)
A : Luas Daerah Pengaliran (ha)

Dari persamaan di atas didapati hasil perhitungan debit *runoff* seperti berikut ini.

Tabel 8. Debit air limpasan permukaan di DAS Wailela Tahun 2023-2044

Tahun	Debit Air Limpasan Permukaan (m^3/s)	
	1 Hari	1 Tahun
2023	50,99	18.610,97
2024	51,13	18.662,14
2029	51,51	18.801,78
2034	51,88	18.935,75
2039	52,25	19.071,25
2044	52,62	19.205,06

Berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat bahwa debit *runoff* per hari yang dihasilkan pada tahun 2023 jika intensitas hujan 50,41 mm/jam yaitu sebesar 50,99 m^3/s dan diprediksikan akan mengalami peningkatan hingga tahun 2044 menjadi 52,62 m^3/s. Sedangkan jika intensitas hujan selama setahun sebesar 18.398,04 mm/jam maka besaran debit *runoff* di tahun 2023 yaitu sebesar 18.610,97 m^3/s dan akan terus mengalami peningkatan menjadi 19.205,06 m^3/s di tahun 2044. Peningkatan debit *runoff* diduga disebabkan karena terjadi peningkatan luasan permukiman dan diiringi penurunan luasan area bervegetasi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sudarto, (2009) yang mengatakan bahwa besarnya debit *runoff* yang dihasilkan tergantung pada tutupan lahan di wilayah tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan data analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemanfaatan lahan di DAS Wailela antara tahun 2012 hingga 2023 mengalami perubahan baik dalam hal peningkatan maupun penurunan luasan. Kelas pemanfaatan lahan yang mengalami peningkatan paling besar yaitu area bervegetasi yang bertambah dari 1.934,81 ha menjadi 1.996,49 ha, serta permukiman yang meningkat dari 41,88 ha menjadi 53,80 ha. Sementara itu, lahan terbuka mengalami penurunan terbesar dari 115,13 ha menjadi 41,19 ha.
2. Prediksi pemanfaatan lahan menunjukkan bahwa kelas permukiman diperkirakan akan mengalami peningkatan luasan pada periode 2024-2044 dari 55,93 ha menjadi 78,13 ha. Di sisi lain, kelas pemanfaatan lahan yang diprediksi akan mengalami penurunan luas adalah area bervegetasi dan lahan terbuka. Hasil uji akurasi yang dilakukan menunjukkan bahwa validasi model mencapai 93%.
3. Berdasarkan analisis debit *runoff* yang dilakukan didapati hasil bahwa perubahan penggunaan lahan yang terjadi memiliki dampak terhadap debit *runoff* yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan koefisien limpasan yang menunjukkan terjadi peningkatan pada periode 2023-2044. Besaran debit *runoff* yang dihasilkan ketika intensitas hujan sebesar 50,41 mm/jam yaitu sebesar 50,99 m^3/s pada tahun 2023 dan akan mengalami peningkatan hingga tahun 2044 menjadi 52,62 m^3/s. Sedangkan jika intensitas hujan selama setahun sebesar 18.398,04 mm/jam maka besaran debit

runoff di tahun 2023 yaitu sebesar 18.610,97 m^3/s dan akan terus mengalami peningkatan menjadi 19.205,06 m^3/s di tahun 2044.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, K. N., & Susetyo, C. (2023). Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Perkembangan Penggunaan Lahan Permukiman di Kecamatan Pulau Laut Sigam. Jurnal Penataan Ruang, Vol 18(1),pp: 1–8. https://doi.org/10.12962/j2716179x.v18i0.16351

Arifah, N. (2018). Permodelan Spasial Perkembangan Lahan Berdasarkan Penentuan Prioritas Ruang Terbuka Hijau Di Wilayah Surabaya Timur. In Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Asdak, C. (2022). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Revisi). Gadjah Mada University Press.

Badan Pusat Statistik Kota Ambon. (2013). Kecamatan Teluk Ambon Dalam Angka 2013

Badan Pusat Statistik Kota Ambon. (2018). Kecamatan Teluk Ambon Dalam Angka 2018

Badan Pusat Statistik Kota Ambon. (2022). Kecamatan Teluk Ambon Dalam Angka 2022

Badan Pusat Statistik Kota Ambon. (2023). Kecamatan Teluk Ambon Dalam Angka 2023

Boreel, A., Silaya, T. M., Parera, L. R., & Latupeirissa, Y. A. (2024). Spatio-Temporal Landscape Hutan dan Dampaknya Terhadap Stock Carbon Sebagai Aksi Mitigasi Menuju Net Sink 2030 di Negeri Hutumuri. Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil, Vol 8(1),pp: 61–71.

Cahyani, M. D., Hernovianty, F. R., & Pratiwi, N. N. (2023). Analisis Aspek Fisik yang Mempengaruhi Perubahan Penggunaan Lahan di Kelurahan Parit Tokaya. Vol 10(2),pp: 1–7.

Fadhil, M. Y., Hidayat, Y., Murtilaksono, K., & Baskoro, D. P. T. (2021). Perubahan Penggunaan Lahan dan Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, Vol 26(2),pp: 213–220. https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.213

Fauzi, R. G. N., Utomo, D. H., & Taryana, D. (2018). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Debit Puncak di Sub DAS Penggung Kabupaten Jember. Jurnal Pendidikan Geografi, Vol 23(1), pp:50–61. https://doi.org/10.17977/um017v23i12018p050

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2009). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2009 tentang Pedoman Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup Dalam Penataan Ruang. https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolioDetails/17/2009/9

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2007). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 41/PRT/M/2007 Tentang Pedoman Kriteria Teknis Kawasan Budi Daya. https://peraturan.infoasn.id/peraturan-menteri-pekerjaan-umum-dan-perumahan-rakyat-nomor-41-prt-m-2007/

Latue, P. C., Septory, J. S. I., Somae, G., & Rakuasa, H. (2023). Perubahan Tutupan Lahan Kota Ambon Tahun 2015, 2019 dan 2023. JPG (Jurnal Pendidikan Geografi), 10(1), 177–186. https://doi.org/10.20527/jpg.v10i1.15472

Madhatillah, & Har, R. (2020). Analisis Debit Air Limpasan Permukaan (Run Off) Akibat Perubahan Tata Guna Lahan Pada DAS Kuranji Dan DAS Batang Arau Kota Padang. Jurnal Bina Tambang, 5(1), 178–189.

Naufal, M., & Susetyo, C. (2020). Prediksi Perubahan Penutupan Lahan Pasca Beroperasinya Gerbang Tol (Interchange) Pandaan di Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan Menggunakan Metode Regresi Logistik Biner. Jurnal Teknik ITS, 9(1), 53–59. https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i1.48278

Novalia, T. (2019). Neraca Lahan Indonesia: Penyusunan Neraca Lahan Indonesia untuk Mendukung Implementasi Sustaiable Develompent Goals. Seminar Nasional Official Statistics, 2019(1), 245–254. https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.68

Nurrahma, A. F., Darsono, & Barokah, U. (2024). Analisis Faktor- Faktor Yang Memengaruhi Alih Fungsi Lahan Sawah Ke Non Sawah Di Kabupaten Klaten. Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis, 8(1), 192–202. https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2024.008.01.15

Papilaya, E., Loppies, R., & Boreel, A. (2023). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Di Areal Konsesi IUPHHK-HA PT Bintang Lima Makmur Kabupaten Maluku Tengah. Jurnak Hutan Pulau-Pulau Kecil: Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan Dan Pertanian, 7(2), 169–180.

Ramadhan, I. B. K., & Susetyo, C. (2020). Prediksi Debit Limpasan Air Permukaan pada Daerah Rawan Banjir di Kabupaten Jombang Berdasarkan Pemodelan Penggunaan Lahan. JURNAL TEKNIK ITS, 9(2), 56–63.

Rizal, G. A. K., & Taryono. (2021). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kecamatan Tingkir Kota Salatiga Tahun 2012 dan 2021. 1–17.

Setiawan, F. (2021). Analisis Perubahan Tutupan/Penggunaan Lahan Kabupaten Bangka Selatan Tahun 2015-2020. Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat, 209–213. https://journal.ubb.ac.id/index.php/snppm/article/view/2752%0Ahttps://journal.ubb.ac.id/index.php/snppm/article/download/2752/1613

Sudarto. (2009). Analisis Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Peningkatan Jumlah Aliran Permukaan. Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, 1–122.

Sugiarto, B. (2018). Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Akibat Dampak Pembangunan Jembatan Suramadu di Kabupaten Bangkalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Suni, M. A., Muis, H., & Arianingsih, I. (2023). Pemodelan Spasial Perubahan Tutupan Lahan Hutan Produksi Terbatas Di Kecamatan Kulawi Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah. 2000.

Syafitri, R. A. W. D. (2017). Pemodelan Penentuan Lahan Pengganti Lp2B (Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan) Berdasarkan Proyeksi Perubahan Lahan Pertanian Di Kabupaten Karanganyar.

Wahyuni, H., & Suranto, S. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan, 6(1), 148–162. https://doi.org/10.14710/jiip.v6i1.10083

Yulien, O., Tayane, A., Boreel, A., & Putuhena, J. D. (2021). Perubahan Tutupan Lahan Di Das Waeruhu Kota Ambon Menggunakan Citra Satelit Multitemporal. 139–151. https://doi.org/10.30598/jhppk.2021.5.2.139

DOI: 1030598/jhppk.v9i1.19385
ISSN ONLINE : 2621-8798