



Pola dan Pemodelan Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sleman Sebagai Wilayah *Peri-Urban*

Patterns and Prediction Modeling of Land Use Change in Sleman Regency as a Peri-Urban Area

Mohammad Rizqi Safirul Kamal^{1,2*}, Reyvaldi Aji Satria², Fabian Gusti Pasha², dan Basillia Way²

¹Kantor Pertanahan Kabupaten Penajam Paser Utara, Penajam Paser Utara, Indonesia

²Program Studi Diploma IV Pertanahan, Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, Sleman, Indonesia

*e-mail: mohammad.rskamal@atrbpn.go.id

(Received: April 21, 2024; Reviewed: July 29, 2024; Accepted: August 19, 2024)

Abstrak

Sebagai wilayah peri-urban, Kabupaten Sleman memiliki perubahan penggunaan lahan yang dinamis. Oleh karena itu, diperlukan penelitian terkait dengan pola perubahan penggunaan lahan yang terjadi serta upaya keberlanjutannya untuk mengawal Rencana Tata Ruang. Penelitian ini melakukan pemodelan prediksi penggunaan lahan dengan menggunakan model *Artificial Neural Network* dan *Cellular Automata Simulation* yang digunakan untuk menghasilkan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2041 yang kemudian didiskusikan terhadap Peraturan Daerah Kabupaten Sleman Nomor 13 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041. Hasil penelitian ini menunjukkan pola perubahan penggunaan lahan dari tahun 2011 hingga tahun 2016 bertipe radial/terpusat. Pemodelan prediksi menggunakan data penggunaan lahan tahun 2011, 2016, dan 2021 serta variabel bebas seperti jalan dan bangunan dan uji akurasi Kappa menunjukkan nilai *correctness* sebesar 91,77% yang dapat diklasifikasikan "bagus sekali sehingga dari data tersebut dapat dilakukan pemodelan prediksi penggunaan lahan tahun 2041. Analisis model terhadap RTRW Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041 menunjukkan peningkatan penggunaan lahan permukiman sejalan dengan tujuan dalam salah satu pencapaian utama dalam penataan ruang, yakni pengembangan kawasan permukiman. Namun, peningkatan tersebut masih belum signifikan apabila dibandingkan dengan prediksi penggunaan lahan ladang. Hasil penelitian ini dapat dijadikan evaluasi lebih lanjut bagi pemerintah dalam pengawasan alih fungsi dari penggunaan lahan khususnya pada cakupan wilayah yang menunjukkan indikasi pola perubahan penggunaan lahan secara radial. Selain itu, perlunya dilakukan upaya pengendalian alih fungsi lahan guna pengawalan dari rencana tata ruang yang diharapkan dapat tercapai sesuai dengan RTRW Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041.

Kata kunci: pemodelan prediksi; peri urban; perubahan penggunaan lahan; pola

Abstract

As a peri-urban area, Sleman Regency has dynamic land use changes. Therefore, there needs to be research related to the pattern of land use change that occurs and its sustainability efforts to oversee spatial planning. This study modeled land use predictions using the *Artificial Neural Network* and *Cellular Automata Simulation* models which were used to produce land use predictions in 2041 which were then discussed against the Local Regulation of Sleman Regency Number 13 of 2021 on Sleman Regency Spatial Plan (RTRW) 2021-2024. The results of this study show that the pattern of land use change from 2011 to 2016 is radial/centralized. Prediction modeling using land use data in 2011, 2016, and 2021 as well as independent variables such as roads and buildings and the Kappa accuracy test showed a correctness value of 91.77% which can be classified as "very good". Thus, from this data, modeling can be carried out to predict land use in 2041. The model then analyzed to the Sleman Regency Spatial Plan 2021-2024 that shows the increase in residential land use is in line with the goal of one of the main targets in spatial planning, namely the development of residential areas. However, the increase is still insignificant when compared to the prediction of farming land use. The results of this study can be used as a further evaluation for the government in supervising land conversion, especially in the area that shows indications of radial land use change patterns. In addition, it is necessary to make efforts to control land conversion to oversee the spatial plan which is expected to be achieved following the Sleman Regency Spatial Plan 2021-2024.

Keywords: land use changes; pattern; peri-urban; predictive modeling

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang sangat bergantung pada sektor pertanian yang memungkinkan untuk menyediakan kebutuhan pangan bagi seluruh penduduk (Mulyadi *et al.*, 2020). Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki lahan yang subur karena terletak pada daerah yang beriklim tropis (Ayun *et al.*, 2020). Namun, ketersediaan lahan pertanian di Indonesia semakin terancam (Kusuma, 2017). Hal tersebut terjadi karena meningkatnya jumlah penduduk yang mengakibatkan meningkat pula permintaan lahan untuk pembangunan dalam berbagai bidang yang dapat mengakibatkan krisis penggunaan lahan pertanian (Prihatin, 2016). Adanya krisis penggunaan lahan pertanian tentu dapat meningkatkan ketidaksesuaian penggunaan lahan dan peruntukannya (Dalillah *et al.*, 2021). Hal ini dapat dicontohkan pada perubahan penggunaan lahan yang semula digunakan sebagai lahan pertanian yang kini telah berubah menjadi lahan terbangun, seperti gedung, perumahan, serta bangunan/infrastruktur lainnya (Hambali *et al.*, 2021). Dengan adanya pembangunan tersebut, tentu menyebabkan dominasi kepemilikan lahan pertanian semakin berkurang yang menyebabkan menurunnya nilai ekonomi serta produksi pada sektor pertanian (Winada & Dewanti, 2023).

Fenomena berbagai pembangunan pada berbagai bidang sering kali dijumpai pada wilayah-wilayah yang dapat dikatakan sebagai daerah pinggiran kota (*peri-urban*) sebagai dampak dari adanya upaya dalam pengembangan wilayah kota (Rahayu, 2009). Wilayah *peri-urban* merupakan wilayah yang dinamis serta terus-menerus mengalami perkembangan pada berbagai aspek seiring dengan perkembangan daerah kota dan wilayah sekitarnya yang menyebabkan dapat menggeser kenampakan kedesaannya menjadi ke arah kekotaan (Oroh *et al.*, 2019). Apabila dikaitkan dengan kepadatan penduduk yang kian meningkat dari waktu ke waktu, hal ini dapat menyebabkan kurangnya daya tampung hunian. Kurangnya daya tampung hunian menyebabkan para pengatur dan perancang kota untuk membangun perumahan ataupun lapangan kerja di wilayah *peri-urban* (Pradana *et al.*, 2021).

Kabupaten Sleman, yang secara administratif berbatasan secara langsung dengan Kota Yogyakarta, berdasarkan karakteristik wilayahnya pada aspek keruangan, demografis, serta pusat-pusat kegiatan, menunjukkan tipologi wilayah *peri-urban* (Mahfudz, 2016). Pesatnya proses modernisasi yang terjadi di Kota Yogyakarta (Pratama, 2019), tentu menyebabkan meningkatnya berbagai aktivitas pada kegiatan pembangunan yang berakibat pada meningkatnya perubahan penggunaan lahan pertanian ke non pertanian sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Bernardus (2021) di Desa Nogotirto yang merupakan salah satu Desa di Kapanewon Gamping, Kabupaten Sleman.

Dari berbagai karakteristik yang menunjukkan ciri wilayah *peri-urban* pada Kabupaten Sleman, perlu ada kajian lebih lanjut guna mempelajari pola dari perubahan penggunaan lahan yang terjadi. Dalam hal keberlanjutan, dilakukan pula pemodelan prediksi dari perubahan penggunaan lahan yang ada di Kabupaten Sleman untuk nantinya dapat diketahui kesesuaian dari perubahan penggunaan lahan tersebut terhadap ciri khas dari wilayah *peri-urban* serta dilakukan analisis secara deskriptif berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Sleman sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Daerah (Perda) Kabupaten Sleman Nomor 13 Tahun 2021.

2. KAJIAN TEORI

2.1. PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN

Secara teknis, analisis perubahan penggunaan lahan dapat dilakukan melalui pemetaan digital dengan metode *overlay* atau tumpang susun (Asmidar *et al.*, 2023). Tumpang susun yang dimaksud adalah membuat dua data spasial penggunaan lahan di lokasi yang sama dengan metadata waktu yang berbeda sehingga terdapat perbedaan klasifikasi penggunaan lahan. Perbedaan klasifikasi penggunaan lahan pada analisis spasial diartikan sebagai adanya perubahan penggunaan lahan, sedangkan kesamaan klasifikasi penggunaan lahan pada analisis spasial diartikan sebagai tidak adanya perubahan penggunaan lahan, sehingga dalam analisis tersebut dapat ditemukan perubahan penggunaan lahan serta perubahan luas penggunaan lahan. Dalam penelitian ini, analisis perubahan penggunaan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan *software* QGIS (*Quantum Geographic Information System*) yang secara otomatis dapat melakukan analisis perubahan penggunaan lahan.

Perubahan penggunaan lahan dalam dapat dikatakan sebagai fenomena global dimana perhatian peneliti di berbagai negara di dunia (Sitorus *et al.*, 2012). Perubahan penggunaan lahan menyebabkan penambahan suatu penggunaan lahan yang lain dalam kurun waktu tertentu atau pada kurun waktu yang berbeda (Suprayogi & Rochani, 2021). Dalam hal ini, perubahan penggunaan lahan akan mengalami perkembangan, terlebih pada wilayah *peri-urban* yang mana merupakan wilayah yang dinamis (Sari & Santoso, 2017). Ditinjau dari karakteristiknya, wilayah *peri-urban* ditandai dengan percampuran dari kenampakan kekotaan dan kedesaan (Rahmawati & Pratomoatmojo, 2020). Wilayah tersebut terbentuk

dikarenakan kawasan perkotaan yang tidak lagi mampu untuk menampung pertumbuhan kegiatan dan perkembangan lahan non terbangun karena terbatas oleh batas administrasi (Suprayogi & Rochani, 2022). Tentunya hal ini mendorong perubahan penggunaan lahan yang ada pada wilayah sekitar perkotaan atau yang berbatasan langsung dengan perkotaan, yang mana terjadi pada Kabupaten Sleman yang berbatasan dengan Kota Yogyakarta.

Penelitian ini memiliki teknik pengolahan data serupa dengan yang dilaksanakan oleh Nabila (2023) dengan perbedaan penggunaan data, yang mana penelitian sebelumnya menggunakan data hasil interpretasi serta digitasi citra satelit. Pada penelitian ini, data bersumber dari data penggunaan lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2011 dan 2016. Selain itu, uji akurasi tingkat kebenaran data menggunakan data penggunaan lahan KLHK pada tahun 2021. Perbedaan lain adalah pada penelitian ini akan dibahas terkait pola perubahan penggunaan lahan yang terjadi serta dilakukan analisis secara deskriptif berdasarkan RTRW Kabupaten Sleman sebagaimana Perda Kabupaten Sleman Nomor 13 Tahun 2021 tentang RTW Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041.

2.2. PREDIKSI PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN

Prediksi perubahan penggunaan lahan pada dasarnya merupakan metode analisis spasial yang menganalisis beberapa data spasial yang bersifat dinamis dari waktu ke waktu sehingga dapat dilakukan prediksi terhadap perubahan penggunaan lahan yang akan terjadi dimasa depan (Wardani *et al.*, 2015). Secara teknis waktu, prediksi perubahan penggunaan lahan di masa depan adalah rentang waktu antara dua data penggunaan lahan atau beberapa kali lipatnya (Asra *et al.*, 2020).

Pengolahan data dalam prediksi perubahan penggunaan lahan dapat dilakukan melalui *software* QGIS dalam program aplikasi MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Evaluation*) (Kamaraj & Rangarajan, 2022). MOLUSCE dapat memprediksi perubahan penggunaan lahan melalui program ANN (*Artificial Neural Network*) dan CA (*Cellular Automata*). ANN merupakan AI (*Artificial Intelligence*) berbasis *Machine Learning* yang yang disusun dengan melatih algoritma dengan mempelajari data secara kompleks sebagaimana cara kerja otak manusia sehingga dapat mengklasifikasikan dan menganalisis suatu data (Abraham, 2005). ANN dalam prediksi perubahan penggunaan lahan berfungsi untuk melakukan *Transition Potential Modelling* atau melakukan permodelan perubahan penggunaan yang secara potensial akan terjadi berdasarkan hasil mendefinisikan kedua data spasial yang diolah. Hasil permodelan potensial perubahan penggunaan lahan dieksekusi melalui simulasi CA. CA merupakan suatu model matematis yang bersifat diskrit dalam memodelkan suatu data dalam sel-sel kecil yang saling berinteraksi sehingga mengalami perubahan susunan sel (Chopard & Droz, 1998). Simulasi CA akan menginteraksikan sel-sel data kedua penggunaan lahan berdasarkan *Transition Potential Modelling* sehingga terjadi prediksi perubahan penggunaan lahan serta dapat disimulasikan prediksi yang jauh di masa depan berdasarkan *Number of Simulation Iterations*. Semakin tinggi *Number of Simulation Iterations*, maka prediksi perubahan penggunaan lahan akan semakin jauh ke masa depan. Namun, terdapat kekurangan dalam akurasi sehingga data yang digunakan dan *Number of Simulation Iterations* perlu dipertimbangkan.

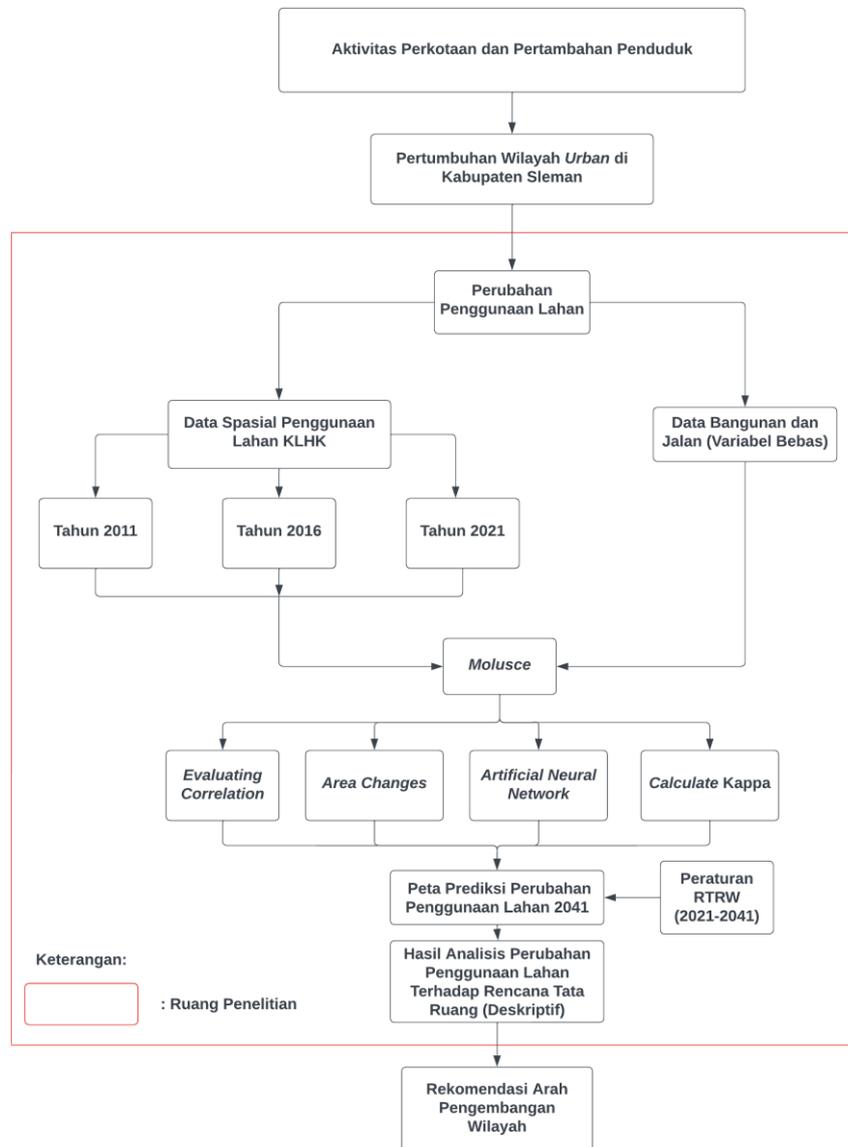
3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kualitatif deskriptif (Lawahaka *et al.*, 2018) dengan pendekatan spasial untuk eksplorasi dan analisis dalam konteks keruangan (Missah *et al.*, 2019). Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data spasial penggunaan lahan pada tahun 2011, 2016, dan 2021 yang berasal dari KLHK. Data untuk variabel bebas, yakni data jalan dan bangunan, bersumber dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI). Data spasial penggunaan lahan diperoleh dan dipilih dalam periode waktu tertentu untuk memberikan kemudahan dalam peninjauan perubahan penggunaan lahan melalui citra satelit (Nabila, 2023). Dari hasil pengolahan data spasial tersebut, dilakukan analisis secara deskriptif dengan berbagai referensi dan hasil penelitian terdahulu serta dari peraturan perundang-undangan terkait.

Secara spesifik, perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh banyak faktor. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis prediksi perubahan penggunaan lahan berdasarkan variabel bangunan dan jalan. Variabel bangunan dipilih karena merupakan ciri khas dari wilayah *peri-urban* yang cenderung mengalami perubahan terlebih dalam hal pembangunan. Adapun variabel jalan dipilih karena perubahan tersebut dirasa memungkinkan untuk memiliki keterkaitan. Penelitian Ansar *et al.* (2014) membuktikan bahwa pembangunan jalan memiliki hubungan yang kuat dengan perubahan penggunaan lahan.

Alur penelitian yang dilaksanakan ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam hal analisis data, secara garis besar terdapat dua analisis data yang dilakukan pada penelitian kali ini, yaitu analisis spasial dan analisis deskriptif. Analisis spasial

dalam penelitian ini meliputi penyiapan data spasial, analisis perubahan penggunaan lahan, dan prediksi perubahan penggunaan lahan. Dari hasil analisis spasial, dilakukan analisis deskriptif terkait pola perubahan penggunaan lahan serta analisis dari hasil prediksi pemodelan perubahan penggunaan lahan terhadap regulasi RTRW Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041.



Gambar 1. Alur Penelitian Melalui Pemodelan Prediksi

Dalam penelitian ini, uji statistik digunakan untuk mengukur tingkat akurasi perubahan penggunaan lahan menggunakan uji statistik kappa. Uji statistik kappa dapat dilakukan dengan menghitung *error matrix* (Muhammad *et al.*, 2016). Hasil perhitungan *error matrix* berikutnya dapat dilakukan perhitungan indeks/nilai kappa (Jensen, 2005).

1. $Kappa = (P(A) - P(E)) / (1 - P(E))$(1)
2. $Kappa\ Loc = (P(A) - P(E)) / (P_{max} - P(E))$(2)
3. $Kappa\ Histo = (P_{max} - P(E)) / (1 - P(E))$(3)

Sumber: Muhammad *et al.*, (2016)

Gambar 2. Rumus Uji Akurasi Kappa

Dengan menggunakan formula pada Gambar 2, maka nilai pada kalkulasi tersebut dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelas seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelas Hasil Uji Kappa

Nilai Koefisien Kappa	Interpretasi Nilai Kappa
0.00 – 0.20	<i>Insufficient</i>
0.21 – 0.40	<i>Satisfactory</i>
0.41 – 0.60	<i>Sufficient</i>
0.61 – 0.80	<i>Good</i>
0.81 – 1.00	<i>Excellent</i>

Sumber: (Kunz, 2017) dengan modifikasi

Guna mempermudah kalkulasi hasil uji dan pengolahan data, digunakan *ArcMap* dan *QGIS* dalam pemrosesannya. Secara garis besar, penelitian dilakukan dengan melakukan perbandingan dan pengamatan dari pola perubahan penggunaan lahan. Data yang digunakan untuk mengamati pola perubahan penggunaan lahan adalah data penggunaan lahan pada tahun 2011 dan tahun 2016. Selanjutnya, dilakukan analisis secara visual dan ditentukan pola perubahan penggunaannya mengacu dari pola perubahan penggunaan lahan menurut Bintarto (1977) dalam Wahyudi (2009). Dalam hal ini, pola perubahan penggunaan lahan dapat dikelompokkan menjadi pola linear mengikuti jalan, pola linear mengikuti sungai, pola linear mengikuti rel kereta api, pola linear mengikuti tepian garis pantai, pola radial atau terpusat, dan pola dispersal atau menyebar. Pemodelan prediksi disertai analisis secara deskriptif berdasarkan peraturan RTRW.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. KLASIFIKASI PENUTUPAN LAHAN

Klasifikasi pada penggunaan lahan dimaksudkan untuk mengelompokkan data yang bersifat induktif sebagai bentuk generalisasi secara sistematis dari suatu cakupan penggunaan lahan. Sisa dari pengelompokan tersebut akan dilakukan berdasarkan kesamaan pada sifat atau suatu kriteria tertentu (Nurfatimah, 2020). Sebagai unit analisis, data penutupan lahan digunakan dalam penelitian ini. Hal tersebut dikarenakan perubahan penutupan lahan berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan. Adapun klasifikasi penutupan lahan yang digunakan pada penelitian ini berpedoman pada Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Nomor 01/Juknis/IPSDH/2015 tentang Penafsiran Citra Resolusi Sedang untuk Menghasilkan Data Penutupan Lahan sebagaimana dijelaskan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015) dalam Tosiani *et al.* (2020). Terdapat 23 klasifikasi penutupan lahan berdasarkan peraturan tersebut tetapi pada Kabupaten Sleman sendiri terdapat sebanyak 8 kelas seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Penutupan Lahan Kabupaten Sleman

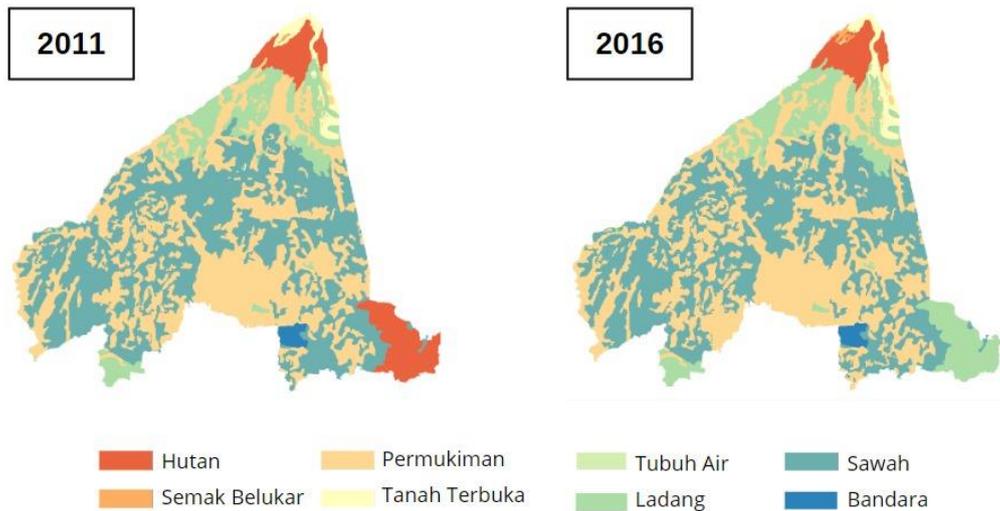
Nomor	Penggunaan Lahan
1	Hutan
2	Semak Belukar
3	Permukiman
4	Tanah Terbuka
5	Tubuh Air
6	Ladang
7	Sawah
8	Bandara

4.2. POLA PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN KABUPATEN SLEMAN TAHUN 2011-2016

Peta penggunaan lahan di Kabupaten Sleman pada tahun 2011 dan 2026 ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan kalkulasi peta tersebut, luasan dari masing-masing jenis penutupan lahan disajikan pada Tabel 3.

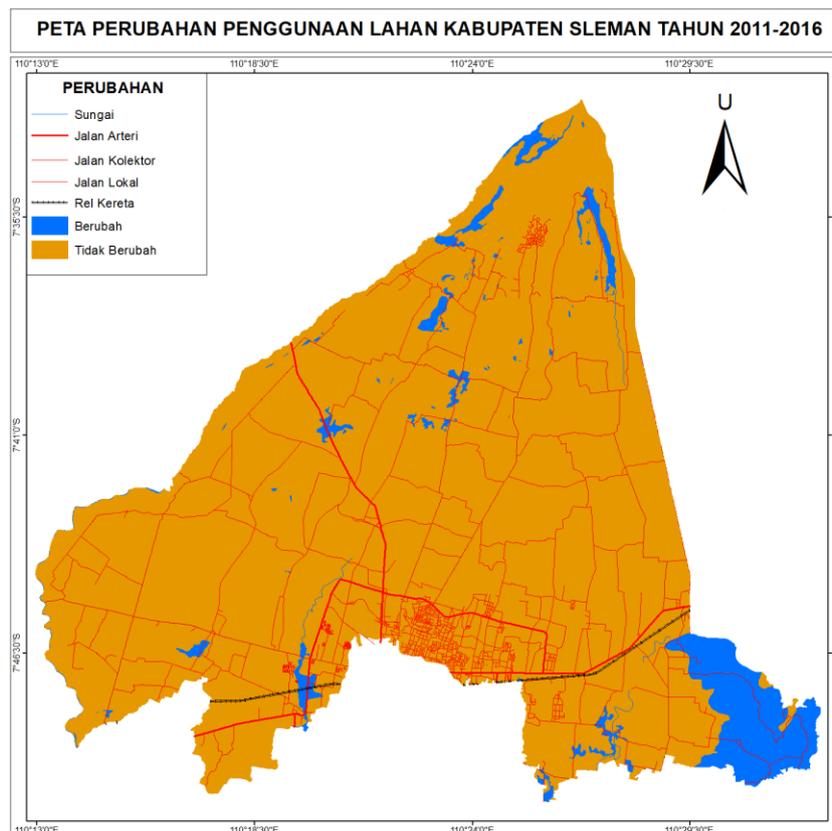
Tabel 3. Luas Penutupan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2011 dan 2016

Nomor	Penutupan Lahan (PL)	Luas PL 2011 (Ha)	Luas PL 2016 (Ha)	Perubahan Luas (Ha)
1	Hutan	4.066,92	1.755,81	(-) 2.311,11
2	Semak Belukar	28,98	128,88	(+) 99,9
3	Permukiman	22.920,93	23.451,12	(+) 530,19
4	Tanah Terbuka	1.014,39	1.051,11	(+) 36,72
5	Tubuh Air	45,18	38,07	(-) 7,11
6	Ladang	5.241,87	7.641,18	(+) 2.399,31
7	Sawah	23.887,35	23.106,15	(-) 781,2
8	Bandara	406,89	405	(-) 1,89



Gambar 3. Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2011 dan 2016

Dari analisis di atas, terdapat perubahan luas dari perubahan penutupan lahan, baik berupa peningkatan ataupun penurunan luas dari tiap-tiap jenis penutupan lahan. Peningkatan luas penutupan lahan terjadi pada penutupan lahan semak belukar, permukiman, tanah terbuka, dan ladang. Adapun penurunan luas penutupan lahan terjadi pada penggunaan lahan hutan, tubuh air, sawah, dan bandara. Perubahan penutupan lahan tersebut tentunya berpengaruh terhadap penggunaan lahan yang mana perubahan data dari penggunaan lahan dimaksud disajikan lebih jelasnya pada Gambar 4.



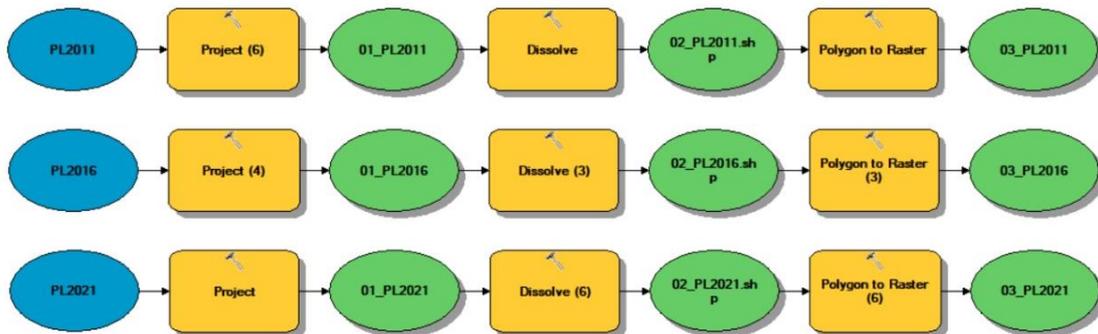
Gambar 4. Peta Perubahan Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2011-2016

Berdasarkan Gambar 4, apabila mengacu dari pola perubahan penggunaan Bintarto (1977) dalam Wahyudi (2009), maka dapat dilakukan analisis secara visual. Dari analisis visual tersebut, dapat disimpulkan bahwa dominasi pola perubahan penggunaan lahan pada Kabupaten Sleman memiliki pola radial atau terpusat apabila ditinjau dari luasan

penggunaan lahan yang mengalami perubahan dari rentang tahun 2011 hingga tahun 2016. Dari analisis penutupan lahan tersebut, akan diolah terkait dengan pemodelan prediksi penggunaan lahannya lebih lanjut.

4.3. PEMODELAN PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN – PENYIAPAN DATA (SPASIAL)

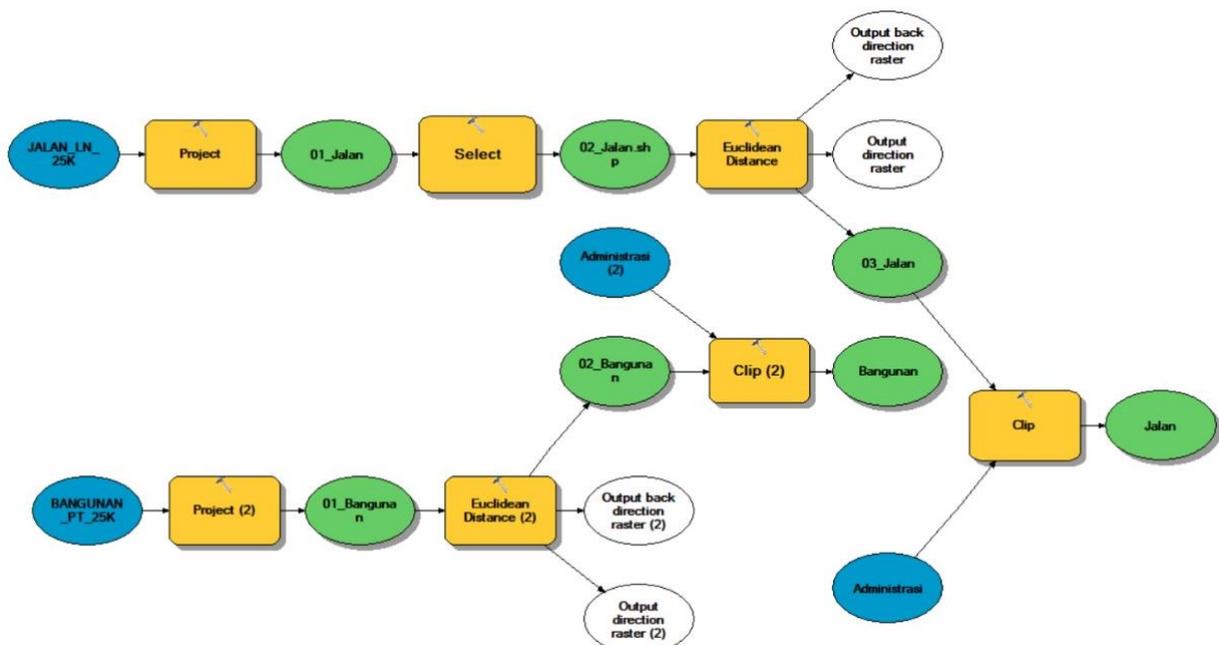
Tahapan awal dimulai dengan penyiapan data spasial melalui pembuatan model diawali dengan pembuatan *model builder* pada *personal geodatabase* di *software* ArcMap. *Model builder* merupakan bahasa pemrograman visual yang membantu dalam membangun sebuah alur kerja *geoprocessing* (Hidayat & Andajani, 2018). Dalam hal ini, data yang diproses pada *model builder* adalah data penggunaan lahan bersumber dari KLHK tahun 2011, 2016, dan 2021 dan pada *model builder* yang lain, yaitu variabel bebas, yakni bangunan dan jalan berdasarkan Peta RBI. *Model builder* untuk menyiapkan data penggunaan lahan KLHK tahun 2011, 2016 dan 2021 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Model Builder Penyiapan Data Penggunaan Lahan

Dalam pembuatan *model builder* sebagaimana Gambar 3, digunakan 3 macam *tools*, yaitu: (1) *tool project*, dalam hal ini digunakan untuk melakukan perubahan serta penyamaan sistem referensi dari masing-masing data penggunaan lahan, guna keseragaman, pada penelitian ini digunakan sistem proyeksi DGN 1995 UTM 49s; (2) *tool dissolve*, dalam hal ini digunakan untuk menggabungkan beberapa fitur dalam satu layer menjadi satu berdasarkan nilai suatu atribut (umum); dan (3) *tool polygon to raster*, dalam hal ini digunakan untuk mengonversi data poligon menjadi raster yang nantinya dapat disimpan dalam format raster pada *geodatabase* yang telah dibuat.

Model builder untuk menyiapkan data variabel bebas, yakni bangunan dan jalan, ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Builder Penyiapan Data Variabel Bebas (Jalan dan Bangunan)

Membuat *model builder* Gambar 4 menggunakan 4 macam *tools*, yaitu: (1) *tool project*, dalam hal ini digunakan untuk melakukan perubahan serta penyamaan sistem referensi dari masing-masing data variabel bebas, guna keseragaman, pada penelitian ini digunakan sistem proyeksi DGN 1995 UTM 49s; (2) *tool select*, dalam hal ini hanya digunakan untuk memilih jenis jalan yang akan digunakan pada proses selanjutnya, dalam penelitian kali ini jenis jalan yang dipilih adalah jalan arteri, kolektor, dan lokal; (3) *Euclidean Distance*, dalam hal ini digunakan karena merupakan salah satu cara yang cukup baik untuk mengukur jarak (Jannah & Humaira, 2019) sehingga dalam dengan penggunaan *tool* ini diharapkan dapat membantu dalam proses pengukuran korelasi antar variabel bebas; dan (4) *tool clip*, dalam hal ini digunakan untuk memotong hasil dari *euclidean distance* dengan basis sesuai dengan cakupan wilayah penelitian, yakni Kabupaten Sleman. Fungsi dari pemodelan dalam penyiapan data variabel bebas adalah agar nantinya dapat dianalisis keterkaitan atau ketergantungan antar variabel dalam pengaruhnya terhadap perubahan penggunaan lahan (Nabila, 2023).

Setelah seluruh model dipersiapkan, guna pemrosesan pada aplikasi QGIS untuk pembuatan model prediksi penggunaan lahan, maka dilakukan konversi dari data raster hasil pemodelan penggunaan lahan serta variabel bebas dalam format GeoTiff. Dalam hal setelah dilakukan evaluasi awal, hasil dari raster tersebut dapat dikonversi dalam format GeoTiff guna menjadi salah satu input pada beberapa metode otomatis (Kok & Tasdemir, 2011), salah satunya adalah dalam pemodelan prediksi dari penggunaan lahan hingga beberapa tahun ke depan secara otomatis.

4.4. PEMODELAN PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN – PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Pengolahan dan analisis data dilaksanakan dengan menggunakan aplikasi QGIS pada *plugin* Molusce. Untuk data yang disajikan dalam suatu *layout*, dilakukan pengolahan data pada aplikasi ArcMap.

4.4.1. Uji Statistik Korelasi (*Evaluating Correlation*)

Dalam hal ini, uji statistik terkait korelasi dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar keterkaitan antar variabel (Herlina *et al.*, 2024). Semakin nyata hubungan linier (garis lurus), maka semakin kuat atau tinggi derajat pula hubungan garis lurus antara kedua variabel atau lebih (Safitri, 2016). Adapun teknik pengujian korelasi yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik *Pearson's Correlation*. Teknik ini merupakan teknik pengujian korelasi sederhana yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antar variabel yang dinyatakan dengan koefisien korelasi (r) (Jabnabillah & Margina, 2022). Nilai koefisien korelasi berada di antara -1 (negatif satu) sampai +1 (positif satu), adapun kriteria dari penilaian tersebut disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria Nilai Koefisien *Pearson's Correlation*

Nomor	Nilai Koefisien Korelasi	Kriteria
1	0.00 – 0.199	Sangat Rendah
2	0.20 – 0.399	Rendah
3	0.40 – 0.599	Sedang
4	0.60 – 0.799	Kuat
5	0.80 – 1.000	Sangat Kuat

Sumber: (Miftahuddin *et al.*, 2021) dengan modifikasi

Dari pengolahan data penelitian yang dilakukan pada tahap ini, dengan variabel bebas yang digunakan, yakni jalan dan bangunan, didapatkan nilai r sebesar 0,682. Nilai r tersebut dapat dikategorikan pada kriteria kuat sehingga hal tersebut berarti bahwa kedua variabel tersebut memiliki korelasi atau keterkaitan yang kuat dalam perubahan penggunaan lahan yang terjadi sehingga variabel tersebut dapat digunakan dalam analisis pemodelan pada penelitian kali ini.

4.4.2. Perubahan Area (*Area Change*)

Pengolahan dalam tahap ini menghasilkan data berupa perubahan penggunaan lahan dari luasan, serta yang terpenting dalam pemodelan prediksi dalam hal ini dihasilkan matriks transisi yang menunjukkan peluang terjadinya perubahan penggunaan lahan pada tiap kelas penggunaan lahannya (Nasrullah *et al.*, 2022). Matriks transisi memiliki nilai pada kisaran 0-1. Apabila nilai berkisar pada rentang 0.01-0.99, maka berpotensi terjadi perubahan penggunaan dari satu ke yang lainnya, sedangkan apabila memiliki nilai 0.00 dan 1.00, maka dimungkinkan tidak terdapat perubahan penggunaan lahan (tetap) pada pemodelan prediksinya (Hapsary *et al.*, 2021). Hasil matriks transisi yang dihasilkan pada tahapan ini disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Transisi

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.407874	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.584912	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000043	0.000000	0.989434	0.000000	0.000000	0.008222	0.000762	0.000000
4	0.075149	0.092272	0.002041	0.810398	0.000000	0.005767	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.027888	0.033865	0.691235	0.000000	0.085657	0.000000
6	0.000052	0.000000	0.011744	0.042117	0.000069	0.942311	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.028371	0.000000	0.000000	0.004363	0.965951	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.995355

Dalam hal ini, dapat diketahui bahwa pada beberapa perubahan penggunaan lahan satu sama lainnya memiliki nilai pada kisaran 0-1 sehingga dalam hal ini pada pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan yang nantinya akan dilakukan tentu akan mengalami perubahan berdasarkan acuan dari matriks transisi tersebut.

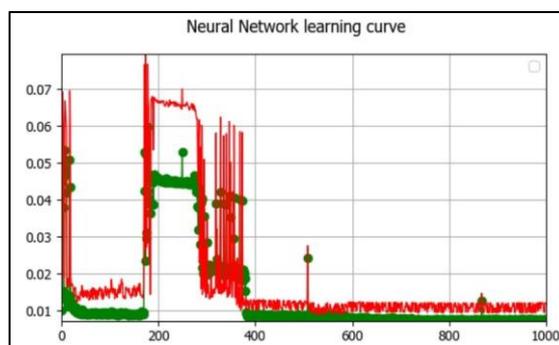
4.4.3. Transition Potential Modelling (TPM)

Pada tahap ini, pemrosesan dilakukan dengan model *Artificial Neural Network* (ANN) dan jaringan *Multi Layer Perceptron* (Rahmah *et al.*, 2019). Sebagai parameter, ditentukan nilai dari *learning rate* sebesar 0.100, *hidden layer* sebesar 10, *momentum* sebesar 0.050, dan iterasi (maksimum) sebesar 1.000. Dari penentuan parameter tersebut, didapatkan hasil pemrosesan seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pemrosesan TPM

Nomor	Keterangan	Nilai
1	<i>Neighbourhood</i>	1 px
2	<i>Learning rate</i>	0.100
3	<i>Maximum iterations</i>	1000
4	<i>Hidden layer</i>	10
5	<i>Momentum</i>	0.050
6	Δ <i>Overall accuracy</i>	-0.00291
7	<i>Min validation overall accuracy</i>	0.00902
8	<i>Current validation Kappa</i>	0.91681

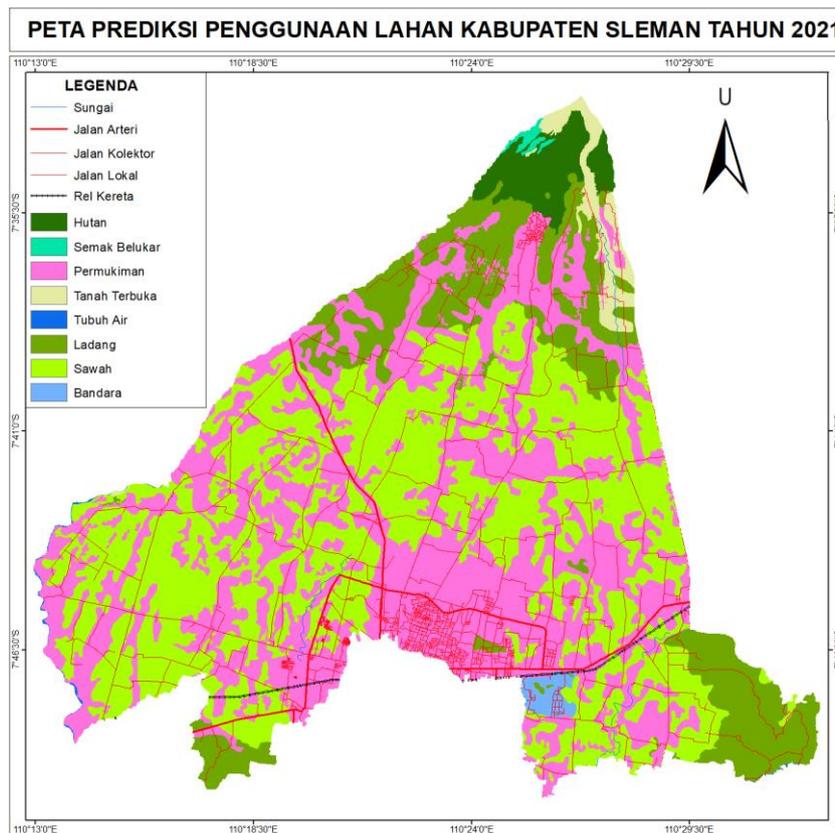
Dari parameter yang telah ditentukan tersebut, dihasilkan nilai *min validation overall accuracy* yang dapat dikatakan sebagai hasil *error* pada penelitian sebesar 0.00902 sehingga semakin kecil nilainya, tentu akan semakin baik pula performa pada tahap selanjutnya. Dari penelitian yang dilakukan oleh Rahmah *et al.* (2019), tahapan serupa juga turut dilakukan. Dari penelitian, didapatkan hasil *error* sebesar 0.0526 yang mana dianggap memiliki performa baik sehingga hasil dari pemrosesan pada penelitian kali ini memiliki nilai yang lebih rendah. Tentu dalam hal ini hasil pemrosesan pada penelitian ini dianggap memiliki performa baik pula. Adapun kurva hasil pemrosesan pada pemodelan ANN digambarkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Hasil Pemodelan ANN

4.4.4. Cellular Automata Simulation (CAS) – Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2021

Pada tahap ini, dihasilkan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2021. Adapun hasil prediksi tersebut disajikan pada peta Gambar 8.



Gambar 8. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2021

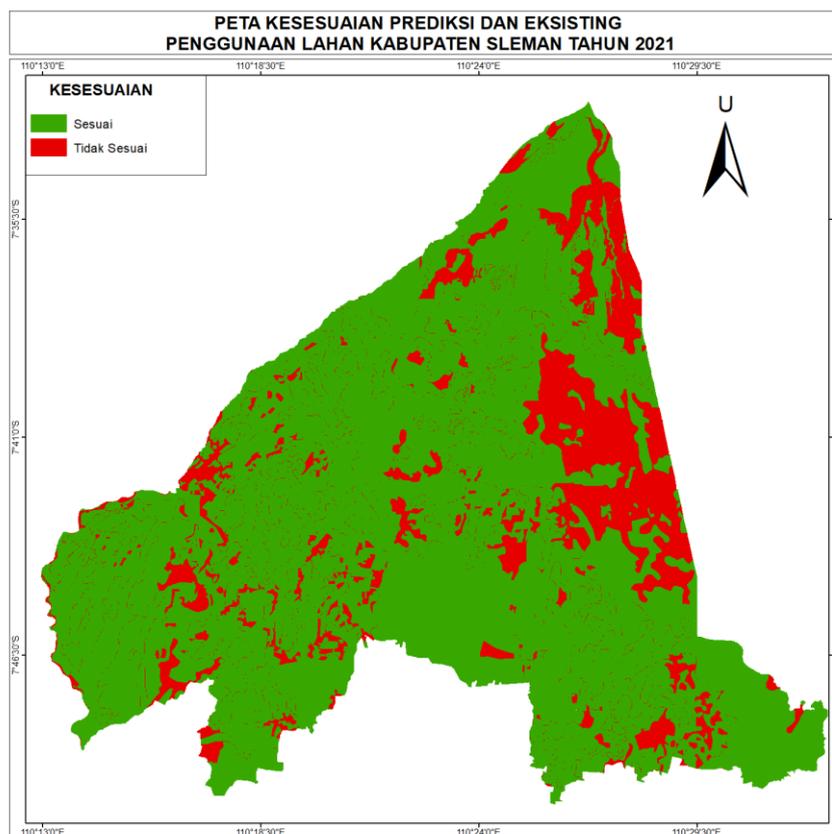
Tahapan CAS dilakukan sebanyak 2 kali, yakni guna menghasilkan prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2021 (pertama) dan tahun 2041 (kedua). Tahap pertama dimaksudkan untuk menghasilkan prediksi yang nantinya akan dilakukan uji akurasi yang lebih lanjut akan dijelaskan pada tahap uji validasi Kappa. Apabila hasil uji validasi memenuhi kriteria, maka data yang digunakan dapat dilakukan untuk melakukan tahap serupa pada bagian kedua untuk kemudian nanti datanya akan dianalisis secara deskriptif terhadap RTRW Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041. Adapun iterasi yang digunakan untuk menghasilkan data tersebut adalah 1 (satu).

Berdasarkan pemodelan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2021 tersebut, untuk dapat mengetahui kesesuaian dari perubahan penggunaan lahan tersebut, maka dapat dilakukan *reclassify*. *Reclassify* merupakan salah satu menu yang memiliki fungsi untuk mengelompokkan atau mengklasifikasikan kembali ke dalam suatu kelas atau kelompok (Ramadhan & Wibowo, 2021). Dalam hal ini, kelas atau kelompok yang ditentukan adalah 2, yakni sesuai dan tidak sesuai. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa cakupan penggunaan lahan yang sesuai dengan model prediksi yang dihasilkan dengan eksisting yang didasarkan dari peta penggunaan lahan KLHK tahun 2021. Adapun hasil *reclassify* yang telah dilakukan pada penelitian ini seperti pada Gambar 9.

Dari gambar 9 tersebut, dapat diuraikan lebih lanjut luas penggunaan lahan yang telah sesuai dan yang tidak sesuai dari eksisting dengan prediksi, sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Luas dan Persentase Kesesuaian Prediksi dan Eksisting Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2021

Nomor	Kelas (Kesesuaian)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sesuai	47.815,25	83,11
2	Tidak Sesuai	9.714,42	16,89



Gambar 9. Peta Kesesuaian Prediksi dan Eksisting Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2021

Dari hasil kesesuaian pada gambar 9 dan tabel 7, dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi memiliki nilai akurasi tinggi yang dibuktikan dengan persentase kesesuaian prediksi terhadap penggunaan lahan eksisting sebesar 83,11%, sedangkan pada persentase ketidaksesuaian terhadap prediksi terhadap penggunaan lahan eksisting sebesar 16,89%. Namun, untuk memperkuat dasar dari penggunaan data pada pemrosesan model prediksi tahun 2041, dalam hal ini diperlukan uji validasi lebih lanjut sebagaimana dijelaskan setelah tahap ini.

4.4.5 Uji Validasi Nilai Kappa

Dalam hal ini, dilakukan pengujian secara statistik sebelum dilakukan pemrosesan model prediksi tahun 2041, yakni uji validasi untuk mendapatkan nilai Kappa. Berdasarkan hasil prediksi penggunaan lahan tahun 2021 yang didapat pada tahap sebelumnya dengan data eksisting penggunaan lahan sebagaimana penggunaan lahan tahun 2021 (Data KLHK), maka diperoleh hasil kalkulasi nilai Kappa seperti pada Gambar 10.

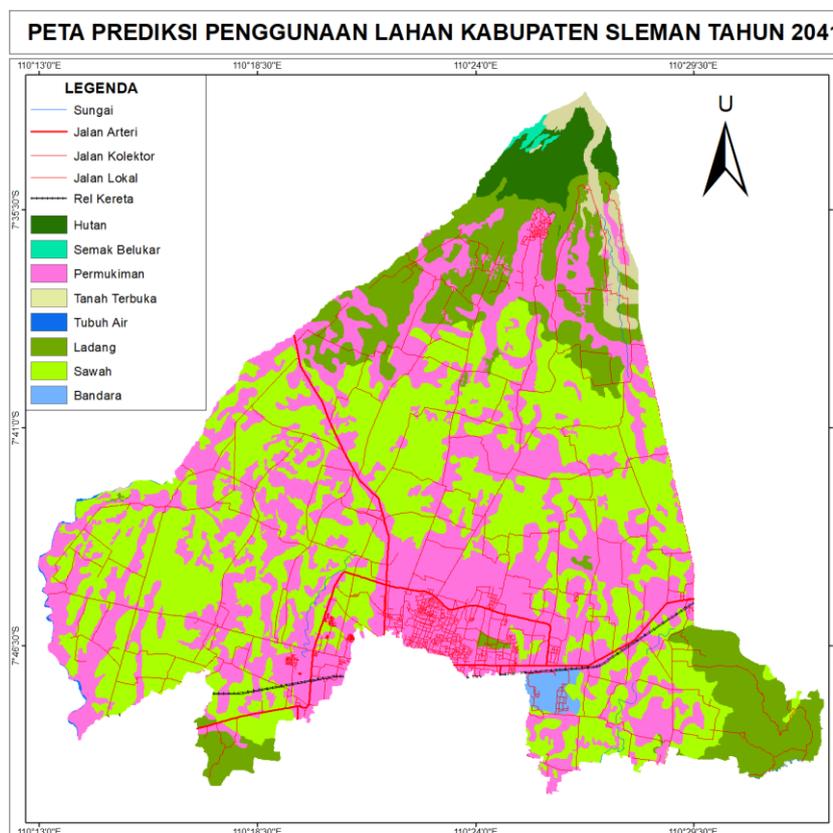
% of Correctness	91.77224
Kappa (overall)	0.87367
Kappa (histo)	0.92282
Kappa (loc)	0.94673

Gambar 10. Hasil Kalkulasi Nilai Kappa

Dari hasil kalkulasi tersebut, diperoleh nilai *correctness* sebesar 91,77% atau dapat dikonversi menjadi 0,9117. Berdasarkan kelas hasil pengujian nilai Kappa sebagaimana Kunz (2017), dapat diketahui bahwa hasil kalkulasi yang dilakukan pada penelitian kali ini memiliki hasil interpretasi yang termasuk dalam rentang 0.81 – 1.00 yang dalam hal ini termasuk dalam kualifikasi “*excellent*” atau dapat diterjemahkan “bagus sekali” sehingga data dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2041.

4.5. CELLULAR AUTOMATA SIMULATION (CAS) – PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN TAHUN 2041

Pada tahap kedua ini, dihasilkan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2041 dengan melakukan *setting* pada iterasi sebesar 5 (lima). Adapun hasil prediksi tersebut disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2041

Berdasarkan dari pemodelan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2041 tersebut, diketahui bahwa terdapat perubahan apabila dibandingkan dengan data penggunaan lahan sebagai dasar untuk menghasilkan pemodelan prediksi, yakni pada tahun 2016. Adapun perubahan tersebut sebagaimana pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 8, dapat disimpulkan bahwa dari prediksi yang telah dihasilkan pada pemrosesan kali ini, dapat diketahui terdapat penggunaan lahan yang mengalami perubahan baik berupa pengurangan seperti hutan dan tanah terbuka ataupun penambahan luas seperti semak belukar, permukiman, dan ladang, serta tidak terdapat perubahan pada penggunaan lahan tubuh air, sawah, dan bandara.

Tabel 8. Luas Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2016 dan (Prediksi) 2041

Nomor	Penggunaan Lahan (PL)	Luas PL 2016 (Ha)	Luas Prediksi PL 2041 (Ha)	Perubahan Luas (Ha)
1	Hutan	1.755,81	1.436,13	(-) 319,68
2	Semak Belukar	128,88	129,24	(+) 0,36
3	Permukiman	23.451,12	23.469,39	(+) 18,27
4	Tanah Terbuka	1.051,11	1.036,53	(-) 14,58
5	Tubuh Air	38,07	38,07	-
6	Ladang	7.641,18	7.956,81	(+) 315,63
7	Sawah	23.106,15	23.106,15	-
8	Bandara	405	405	-

4.6. ANALISIS HASIL PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP PERDA KABUPATEN SLEMAN NO.13 TAHUN 2021

Pemodelan prediksi yang dibuat disesuaikan dengan rentang waktu dari RTRW Kabupaten Sleman sebagaimana ditetapkan dengan Peraturan Daerah (Perda) Kabupaten Sleman Nomor 13 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041. Hal tersebut dilakukan agar dapat dilakukan analisis secara

deskriptif terkait tujuan/rencana dari penataan ruang Kabupaten Sleman yang diharapkan dapat terwujud pada tahun 2041 dengan pemodelan prediksi penggunaan lahan pada tahun 2041.

Mengacu pada pasal 5 ayat 4 pada peraturan tersebut, dalam upaya untuk mewujudkan *smart growth* dalam penataan ruang, maka arah kebijakan yang dilakukan salah satunya dengan mengembangkan kawasan permukiman yang aman, nyaman, dan berkelanjutan (seperti huruf b). Lebih lanjut, diuraikan pula strategi dalam pencapaiannya seperti pasal 6 ayat 6, yang dapat dilakukan dengan cara mengembangkan dari kawasan permukiman ataupun sarana dan prasarannya (seperti huruf a dan c). Berdasarkan hal tersebut, tampak jelas bahwa rencana penataan ruang dalam hal ini sesuai dengan ciri dari wilayah *peri-urban* itu sendiri, yakni upaya dalam pengembangan wilayah pinggiran kota melalui berbagai pembangunan infrastruktur atau sebagai permukiman. Hal tersebut sesuai dengan prediksi dari penggunaan lahan pada tahun 2041 yang telah dilakukan, yakni dengan bertambahnya penggunaan lahan permukiman seluas 18,27 ha sehingga dari ciri tersebut, dapat dikatakan prediksi yang dihasilkan selaras dengan tujuan yang disebutkan. Namun, keselarasan saja tidaklah cukup, dalam hal upaya perwujudan indikasi program utama jangka menengah 5-tahunan seperti pasal 40, yang mana salah satunya adalah mewujudkan rencana struktur ruang wilayah (seperti pasal 40 ayat 2 huruf a), yakni dengan mewujudkan sistem pusat permukiman dan mewujudkan sistem jaringan prasarana (seperti pasal 42 ayat 1) sehingga kenaikan prediksi penggunaan lahan tahun 2041 yang tidak signifikan apabila dibandingkan dengan penggunaan lahan pada ladang, tentu tidak selaras dengan upaya pencapaian utama tersebut sehingga dalam hal ini perlu adanya upaya dalam pengawasan alih fungsi lahan sebagai wujud rekomendasi akhir dari penelitian ini guna menjaga keberlanjutan rencana penataan ruang yang telah ditetapkan.

5. KESIMPULAN

Karakteristik wilayah *peri-urban* yang kerap mengalami perubahan penggunaan lahan secara signifikan menyebabkan pentingnya pengawasan terkait alih fungsi lahan. Hal tersebut terjadi pada Kabupaten Sleman, yang dikaji pada penelitian ini. Analisis menggunakan data penutupan lahan memengaruhi perubahan penggunaan lahan eksisting. Dari analisis penutupan lahan, diketahui pola perubahan penggunaan lahan yang terjadi di Kabupaten Sleman berdasarkan data penggunaan lahan tahun 2011 dan tahun 2016 dan dapat disimpulkan bahwa dominasi pola perubahan penggunaan lahan pada Kabupaten Sleman memiliki pola yang radial atau terpusat. Dari pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan CAS-ANN, dapat disimpulkan bahwa data yang digunakan (Data Penggunaan Lahan KLHK Tahun 2011, 2016, dan 2021 serta variabel bebas berupa jalan dan bangunan) termasuk dalam kualifikasi "bagus sekali" sehingga dari data tersebut dapat dilanjutkan untuk membuat pemodelan penggunaan lahan pada tahun 2041. Dari hasil pemodelan yang dilakukan, didapatkan bahwa prediksi peningkatan luas penggunaan lahan permukiman sejalan dengan upaya pemerintah terkait dengan pengembangan kawasan permukiman. Namun, mengingat prediksi tersebut tidak signifikan apabila dibandingkan dengan penggunaan lahan ladang, tentu tidak selaras apabila dikaitkan dengan upaya pencapaian utama guna pengembangan kawasan permukiman. Penelitian yang dilakukan dapat dijadikan pedoman dan evaluasi bagi pemerintah terkait dengan pentingnya pengawasan perubahan penggunaan lahan yang terjadi di wilayah *peri-urban* Kabupaten Sleman. Perlu dilakukan pengawasan lebih lanjut terlebih pada cakupan wilayah yang menunjukkan indikasi pola dari perubahan penggunaan lahan, misalnya dengan melakukan pengendalian alih fungsi lahan yang dirasa tidak sesuai dengan tujuan penataan ruang Kabupaten Sleman sebagaimana tertuang pada Perda Kabupaten Sleman Nomor 13 Tahun 2021 tentang RTRW Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, A. (2005). Artificial Neural Networks. *Handbook of Measuring System Design*, 901–908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0471497398.mm421>
- Ansar, Z., Yudono, A., & Sastrawati, I. (2014). Pengaruh Pembangunan Jalan terhadap Perubahan Penggunaan Lahan. *Jurnal Wilayah Dan Kota Maritim*, 2(1), 63–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.20956/jwkm.v2i1.1256>
- Asmidar, Yunus, M., & Danial. (2023). Analisis Citra Satelit Multi Temporal untuk Mendeteksi Kotamadya Parepare (Analysis of Multi Temporal Satellite Images to Detect Shoreline Changes in the Parepare Bay Area Parepare Municipality). *Jurnal Techno-Fish*, VII(1), 118–131. <https://doi.org/10.25139/TF.v7i1.6241>
- Asra, R., Mappiasse, M. F., & Nurnawati, A. A. (2020). Penerapan Model CA-Markov untuk Prediksi Perubahan. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1), 1–8. <https://journal.lppm-unasman.ac.id/index.php/agrovital/article/view/630>
- Ayun, Q., Kurniawan, S., & Saputro, W. A. (2020). Perkembangan Konversi Lahan Pertanian di Bagian Negara Agraris. *VIGOR: JURNAL ILMU PERTANIAN TROPIKA DAN SUBTROPIKA*, 5(2), 38–44. <https://doi.org/10.31002/vigor.v5i2.3040>
- Bernardus, S. A. (2021). *Studi Tentang Perubahan Penggunaan Tanah Pertanian Ke Non Pertanian Di Desa Nogotirto Kecamatan Gamping Kabupaten Sleman* [Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional]. <http://repository.stpn.ac.id/id/eprint/3247>
- Dalilah, A., Malinda, A. R., Oktapiyansyah, R., Monicha, W., & Purnama, F. (2021). Monitoring Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Citra SPOT 6 dan SPOT 7 di Kota Semarang. *Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial*, 7(1).

- <https://doi.org/10.23887/jjis.v7i1.23016>
- Hambali, F. R., Sutaryono, S., & Pinuji, S. (2021). Kesesuaian Kawasan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan dengan Rencana Tata Ruang Wilayah di Kabupaten Sumenep. *Tunas Agraria*, 4(3), 276–292. <https://doi.org/10.31292/jta.v4i3.164>
- Hapsary, M. S. A., Subiyanto, S., & Firdaus, H. S. (2021). Analisis Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Artificial Neural Network dan Regresi Logistik di Kota Balikpapan. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2), 88–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30637>
- Herlina, S., Widiati, I., Rizqiani, D. A., & Stabita, A. (2024). Analisis Korelasi Literasi Digital dan Literasi Statistis Mahasiswa Calon Guru Matematika. *ALGORITMA: Journal of Mathematics Education*, 6(2), 151–164. <https://doi.org/https://doi.org/10.15408/ajme.v6i2.43449>
- Jabnabillah, F., & Margina, N. (2022). Analisis Korelasi Pearson dalam Menentukan Hubungan antara Motivasi Belajar dengan Kemandirian Belajar pada Pembelajaran Daring. *Jurnal Sintak*, 1(1), 14–18. <https://doi.org/https://journal.iteba.ac.id/index.php/journalsintak/article/view/23>
- Jannah, M., & Humaira, N. (2019). Implementasi Metode Euclidean Distance untuk Ekstraksi Fitur Jarak pada Citra Skeleton. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 24(2), 134–139. <https://doi.org/10.35760/ik.2019.v24i2.2368>
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Pro-cessing: a Remote Sensing Perspective, Third Edition*. Pearson Education, Inc.
- Kamaraj, M., & Rangarajan, S. (2022). Predicting the Future Land Use and Land Cover Changes for Bhavani Basin, Tamil Nadu, India, Using QGIS MOLUSCE Plugin. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57), 86337–86348. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>
- Kok, R. De, & Tasdemir, K. (2011). Analysis of High-Resolution Remote Sensing Imagery With Textures Derived From Single Pixel Objects. *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications II*. <https://doi.org/10.1117/12.898188>
- Kunz, A. (2017). *Misclassification and kappa-statistic: Theoretical Relationship and Consequences in Application*.
- Lawahaka, M. J. A., Franklin, P. J. C., & Rondonuwu, D. M. (2018). Kajian Perubahan Penggunaan Lahan di Kecamatan Paal Dua Kota Manado. *Jurnal Spasial, Volume 5*(3), 394–405. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/sp.v5i3.21999>
- Miftahuddin, M., Sitanggang, A. P., & Setiawan, I. (2021). Analisis Hubungan antara Kelembaban Relatif dengan beberapa Variabel Iklim dengan Pendekatan Korelasi Pearson di Samudera Hindia. *Jurnal Siger Matematika*, 2(1), 25–33. <https://doi.org/10.23960/jsm.v2i1.2753>
- Missah, R. E., Sela, R. L. E., & Takumansang, E. D. (2019). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) di Kabupaten Minahasa Tenggara (Studi Kasus: Kecamatan Ratahan). *Jurnal Spasial*, 6(2), 247–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/sp.v6i2.25306>
- Muhammad, A. M., Rombanf, J. A., & Saroinsong, F. B. (2016). Identifikasi Jenis Tutupan di Kawasan KPHP Poigar dengan Metode Maximum Likelihood. *Cocos*, 7(2), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.35791/cocos.v7i2.11451>
- Mulyadi, H., Rochdiani, D., & Hakim, D. L. (2020). Analisis Usaha Tani Minapadi (Studi Kasus pada Kelompok Tani Fajar Jayamukti di Desa Jayamukti Kecamatan Leuwisari Kabupaten Tasikmalaya). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroinfo Galuh*, 7(1), 45–55. <https://doi.org/10.25157/jimag.v7i1.2555>
- Nabila, D. A. (2023). Pemodelan Prediksi dan Kesesuaian Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN). *Tunas Agraria*, 6(1), 41–55. <https://doi.org/10.31292/jta.v6i1.203>
- Nasrullah, Trisutomo, S., & Rasyid, A. R. (2022). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Kawasan Tanjung Bunga Kelurahan Tanjung Merdeka Kota Makassar. *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah ...*, 11(1), 18–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.24252/jpm.v11i1.28710>
- Oroh, A., Kumurur, V. A., & Warouw, F. (2019). Analisis Karakteristik Wilayah Peri Urban berdasarkan Aspek Fisik di Kecamatan Pineleng Kabupaten Minahasa. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 6(2), 388–397. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/sp.v6i2.25335>
- PA Hidayat, D., & Andajani, S. (2018). Development Land Erosion Model Using Model Builder GIS (Case Study: Citepus Watershed). *MATEC Web of Conferences*, 147. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814703003>
- Pradana, A. C., Soedwihajono, S., & Nurhadi, K. (2021). Fenomena Perubahan Penggunaan Lahan Pertanian Menjadi Perumahan: Studi Kasus Kawasan Peri-Urban Kecamatan Colomadu. *Desa-Kota*, 3(1), 25–35. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v3i1.37622.24-35>
- Pratama, F. F. (2019). Perubahan Masyarakat dan Perkembangan Kota Yogyakarta 1920-1940. *Jurnal Prodi Ilmu Sejarah*, 4(3), 294–308. <https://journal.student.uny.ac.id/index.php/ilmu-sejarah/article/view/15743>
- Prihatin, R. B. (2016). Alih Fungsi Lahan di Perkotaan (Studi Kasus di Kota Bandung dan Yogyakarta). *Jurnal Aspirasi*, 6(2), 105–118. <https://doi.org/10.22212/aspirasi.v6i2.507>
- Rahayu, S. (2009). Kajian Konversi Lahan Pertanian di Daerah Pinggiran Kota Yogyakarta Bagian Selatan (Studi Kasus di Sebagian Daerah Kecamatan Umbulharjo). *Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 5(3). <http://www.mpwk.undip.ac.id/>
- Rahmah, A. N., Subiyanto, S., & Amarrohman, F. J. (2019). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan dengan Artificial Neural Network (Ann) di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 9(1), 197–206. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26164>
- Rahmawati, M., & Pratomatmojo, N. A. (2020). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata pada Wilayah Peri Urban Kota Surabaya di Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 200–206. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.48484>
- Ramadhan, A., & Wibowo, A. (2021). Reclassification of Soil Type Maps for Evaluation of Forest Areas Using SMCA in Bogor Regency. *Jurnal Tunas Geografi Vol*, 10(2), 91–98. <https://doi.org/>

- Safitri, W. R. (2016). Analisis Korelasi dalam Menentukan Hubungan antara Kejadian Demam Berdarah Dengue dengan Kepadatan Penduduk di Kota Surabaya pada Tahun 2012 - 2014. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 1(3). <https://api.core.ac.uk/oai/oai:ajs2.journal.stikesperkabjombang.ac.id:article/23>
- Sari, K. D. R., & Santoso, E. B. (2017). Analisis Keterkaitan Wilayah Peri Urban di Kabupaten Gresik dengan Wilayah Desa-Kota di Sekitarnya. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24971>
- Sitorus, S. R. P., Leonataris, C., & Panuju, D. R. (2012). Analisis Pola Perubahan Penggunaan Lahan dan Perkembangan Wilayah di Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 14(1), 21–28. <https://doi.org/10.29244/jitl.14.1.21-28>
- Suprayogi, R., & Rochani, A. (2021). Kesesuaian Perubahan Penggunaan Lahan dengan Rencana Tata Ruang di Kawasan Peri-Urban. *Jurnal Kajian Ruang Vol*, 1(2), 238–254. <http://jurnal.unissula.ac.id/index.php/kr>
- Suprayogi, R., & Rochani, A. (2022). Kesesuaian Perubahan Penggunaan Lahan dengan Rencana Tata Ruang di Kawasan Peri-Urban. *Jurnal Kajian Ruang*, 1(2), 238–254. <https://doi.org/10.30659/jkr.v1i2.20031>
- Tosiani, A., Mohammad, A. R., Sularso, G. N. M., Lugina, M., Novita, N., & Lestari, N. S. (2020). *Standar Operasional Prosedur (SOP): Penghitungan Akurasi dan Uncertainty Perubahan Penutupan Lahan* (1st ed.). IPB Press.
- Wardani, D. W., Danoedoro, P., & Susilo, B. (2015). Kajian Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Citra Layer Perceptron dan Markov Chain di Sebagian Kabupaten Bantul. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX 2015*, 198–205.
- Winada, R. R. W., & Dewanti, A. N. (2023). Transformasi Wilayah Peri Urban Kecamatan Balikpapan Timur Berdasarkan Aspek Fisik, Sosial, Dan Ekonomi. *COMPACT: Spatial Development Journal*, 2(1), 79–94. <https://doi.org/10.35718/compact.v2i1.852>