



Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Model CLUE-S untuk Prediksi Limpasan Permukaan di Kota Malang

Spatial Analysis of Land Use Changes (LUC) using the CLUE-S Model for Predicting Surface Runoff in Malang City

Mellinia Regina Heni Prastiwi¹

Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Malang, Kota Malang, Indonesia

Syamsul Bachri

Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Malang, Kota Malang, Indonesia

Artikel Masuk : 17 November 2023

Artikel Diterima : 7 Januari 2026

Tersedia Online : 30 April 2026

Abstrak: Perkembangan fisik kota dan kebutuhan akan lahan berdampak pada perubahan penggunaan lahan di Kota Malang, sehingga menyebabkan perubahan kebijakan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) terhadap proporsi Ruang Terbuka Hijau (RTH). Alih fungsi lahan yang terjadi pada kawasan ini berakibat pada berkurangnya aliran dasar dan infiltrasi sehingga menyebabkan peningkatan pada debit limpasan permukaan. Penelitian ini difokuskan pada prediksi penggunaan lahan dengan pemanfaatan model spasial CLUE-S dengan tujuan untuk mengetahui hasil prediksi terhadap RTRW dan debit limpasan permukaan di Kota Malang. Data penelitian menggunakan data primer dan data sekunder yang dikumpulkan dan diolah dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan informasi spasial dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Hasilnya menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan di Kota Malang dalam kondisi prediksi maupun pengalokasian lahan pada RTRW didominasi menjadi kawasan permukiman dengan luasan pada tahun 2031 sebesar 63.51% (70.34 km²) dan pengalokasian lahan sebesar 65.30% (71.43 km²) pada RTRW Kota Malang tahun 2010-2030 dan 65.02% (72.20 km²) pada RTRW Kota Malang tahun 2022-2042. Perubahan yang mengacu pada pertumbuhan kawasan permukiman yang semakin cepat di Kota Malang pada tahun 2001-2031, berpengaruh pada kenaikan debit limpasan air permukaan yang dihitung secara *time series*. Diketahui sepanjang tahun 2001-2031 terjadi peningkatan limpasan permukaan di Kota Malang sebesar 18.99% atau 151.42 m³/s.

Kata Kunci: Limpasan Permukaan, Model CLUE-S, Perubahan Penggunaan Lahan, Rencana Tata Ruang Wilayah

¹ Korespondensi Penulis: Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Malang, Kota Malang, Indonesia
Email: mellinia.regina.1907226@students.um.ac.id

How to Cite

Prastiwi, M. R. H., & Bachri, S. (2026). Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Model CLUE-S untuk Prediksi Limpasan Permukaan di Kota Malang. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 14(1), 34-54. <https://doi.org/10.14710/jwl.14.1.34-54>

Abstract: *The physical development of the city and the need for land affect the change in land use in Malang City, thus leading to changes in the policy of the Regional Space Planning (RTRW) towards the proportion of green open space (RTH). The displacement of land function that occurs in this area results in a decrease in base flow and infiltration increasing surface runoff discharge. This research focuses on predicting land use using the spatial model CLUE-S to know the results of predictions against RTRW and surface runoff in Malang City. Research data uses primary and secondary data collected and processed using remote sensing technologies and spatial information with quantitative descriptive approaches. The results indicate that the change in land use in Malang city in the conditions of forecasting and land allocation in RTRW is predominantly in the settlement area with an area of extent in 2031 of 63.51% (70.34 km²) and the allocation of land of 65.30% (71.43 km²) at the RTRW 2010-2030 and 65.02% (72.20 km²) at the RTRW 2022-2042. Changes referring to the rapid growth of settlement areas in Kota Malang in 2001-2031, influenced the increase in surface runoff discharge calculated in time series. It is known that during the years 2001-2031, there was an increase in surface runoff in Malang City by 151.42 m³/s.*

Keywords: *land use changes; CLUE-S Model; policy change of the regional space plan; surface runoff*

Pendahuluan

Perubahan spasial di daerah perkotaan dipengaruhi oleh faktor fisik dan faktor sosial-ekonomi yang berakibat pada penggunaan lahan (Waiyasusri, K., & Chotpantarat, 2022). Perubahan yang terjadi Kota Malang dikarenakan adanya konversi lahan menjadi permukiman akibat pemenuhan kebutuhan akan lahan dan perkembangan fisik kota (Utaya, 2009). Berdasarkan pada data Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Malang, diketahui penggunaan lahan di Kota Malang cenderung mengubah lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Kota Malang mengalami penurunan luas lahan pertanian pada tahun 2019-2020 sebesar 47 hektar, pada tahun 2020-2021 sebesar 19 hektar dan pada tahun 2021-2022 tidak terjadi perubahan penggunaan lahan (Badan Pusat Statistik Kota Malang, 2022).

Ketidaksesuaian antara kebijakan pemerintah pusat dan pelaksanaan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Malang Tahun 2010-2030 disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan di Kota Malang. Pengalihgunaan lahan terbuka menjadi lahan terbangun mengurangi luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Padahal menurut Peraturan Menteri Agraria dan Perencanaan Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2022, RTH memiliki fungsi ekologi dan hidrologis sehingga perubahan dalam penggunaan lahan akan berdampak pada kondisi hidrologis kota.

Daerah resapan air juga mengalami pergeseran fungsi dari lahan terbuka ke lahan terbangun. Sebagai salah satu faktor penentu limpasan permukaan, jenis penggunaan lahan selalu berubah seiring perkembangan kota. Perubahan fungsi lahan di kawasan resapan air, terutama RTH, akan mengakibatkan peningkatan debit limpasan permukaan dan penurunan resapan air. Hal ini disebabkan oleh aliran dasar yang menurun dan infiltrasi yang menurun, yang menghasilkan limpasan permukaan yang lebih besar (Sudarto, 2010; Ramadhan, 2020). Karena daerah perkotaan cepat merespons hujan, parameter limpasan menjadi sangat penting dan dominan. Peningkatan debit limpasan permukaan di daerah perkotaan ditandai dengan banjir dan genangan. Menurut Dokumen Kota Malang Angka 2022, terdapat 11 kejadian banjir di Kota Malang pada tahun 2019, 6 pada tahun 2020, dan 7 pada tahun 2021. Banjir terjadi di lima kecamatan Kota Malang (Badan Pusat Statistik Kota Malang, 2022). Kota Malang seharusnya tidak mengalami bencana banjir karena memiliki topografi bergelombang dan berada di dataran tinggi. Namun, banjir sesaat sering terjadi di beberapa lokasi karena kurangnya sistem drainase dan proporsi lahan terbuka yang semakin sempit (Utaya, 2009). Berdasarkan dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Malang tahun 2018-2023, sistem drainase dan utilitas Kota Malang belum

optimal secara terpadu dan berkelanjutan. Padahal drainase difungsikan sebagai salah satu sistem pengendalian banjir di daerah perkotaan.

Mempertimbangkan permasalahan yang cukup kompleks di Kota Malang, perubahan penggunaan lahan dapat diprediksi secara kuantitatif dengan mempertimbangkan faktor fisik, ekonomi, sosial dan kebijakan (Munibah, 2010). Prediksi penggunaan lahan dapat dilakukan dengan pemanfaatan aplikasi Dyna-CLUE dengan model CLUE-S dengan memasukkan histori data penggunaan lahan di wilayah kajian. Model CLUE-S banyak diterapkan untuk analisis penggunaan lahan terhadap kajian hidrologi (Kurniawan, 2021), simulasi pola spasial penggunaan lahan terhadap skenario pembangunan yang berbeda (Huang D, Huang J, 2019), pengaplikasian pada kajian pariwisata (Waiyasusri, K., & Chotpantararat, 2022), serta skenario penggunaan lahan dari sektor ekonomi seperti pertanian dan kehutanan (Nasiakou, S., Vrahnakis, M., Chouvardas, D., Mamanis, G., Kleftoyanni, 2022). Penerapan pemodelan CLUE-S digunakan untuk mengetahui daerah di Kota Malang yang rentan terhadap perubahan penggunaan lahan dan menilai dampak lingkungan dari hasil pemodelan.

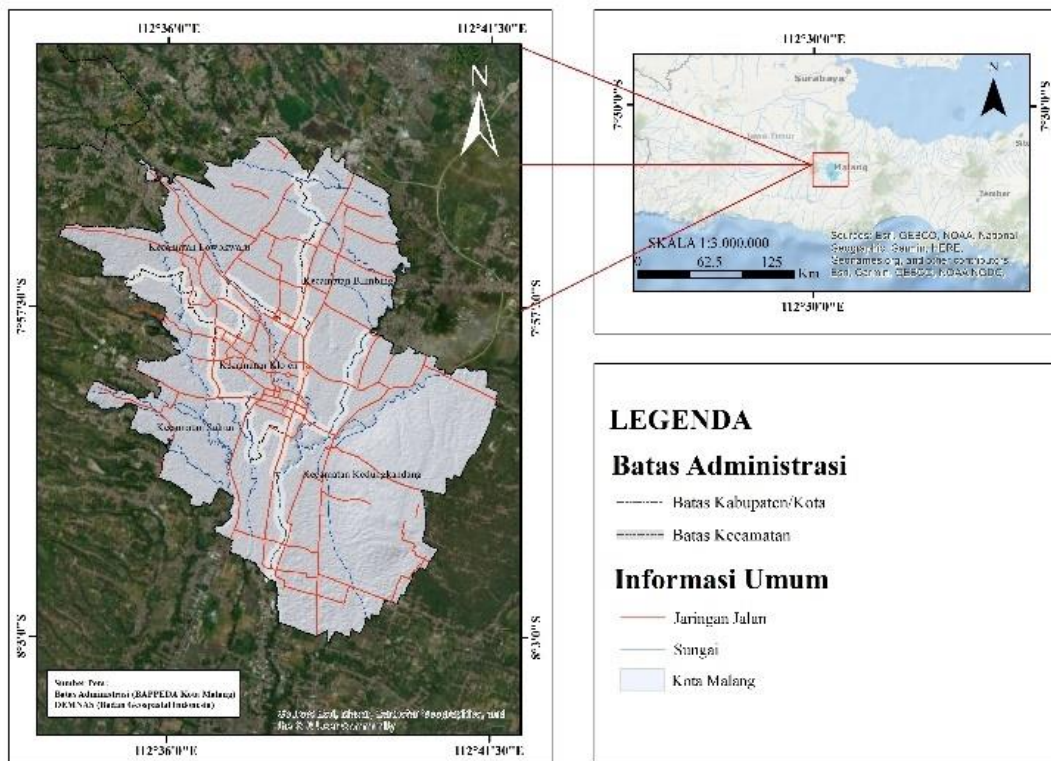
Penelitian ini menggunakan model CLUE-S untuk memprediksi penggunaan lahan di masa depan dan secara kuantitatif menghubungkan hasil prediksi dengan peningkatan debit limpasan permukaan di Kota Malang. Meskipun model CLUE-S telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian penggunaan lahan, penelitian ini secara khusus mengintegrasikannya untuk memprediksi dampak limpasan permukaan sebagai akibat dari perubahan penggunaan lahan yang masih terbatas. Oleh karena itu, dengan memberikan analisis spasial yang menyeluruh mulai dari pemodelan penggunaan lahan hingga prediksi kuantitatif limpasan permukaan, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan. Sehingga dapat menjadi referensi penting untuk perencanaan tata ruang wilayah yang berkelanjutan dan mitigasi bencana banjir di masa depan. Hal ini sejalan dengan prinsip dan tujuan dari pembangunan berkelanjutan (*SDGs*) (Waiyasusri, K., & Chotpantararat, 2022). Berdasarkan pada latar belakang di atas bahwasanya perkembangan penggunaan lahan di Kota Malang mengalami perubahan yang cukup signifikan, sehingga memerlukan penerapan model CLUE-S untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di Kota Malang pada masa mendatang. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui hasil prediksi penggunaan lahan terhadap RTRW dan (2) mengetahui hasil prediksi penggunaan lahan terhadap limpasan permukaan di Kota Malang.

Metode Penelitian

Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian deskriptif kuantitatif ini menggunakan pendekatan spasial dan analisis statistik. Lokasi penelitian berada di Kota Malang yang terletak pada 07°46'48" hingga 08°46'42" LS dan 112°31'42" hingga 112°48'48" BT. Pemilihan lokasi berdasarkan pada perubahan penggunaan lahan yang berfluktuasi dari tahun ke tahun sehingga perlu dilakukan analisis spasial untuk mengetahui perkiraan penggunaan lahan dengan penerapan model CLUE-S untuk melihat dampaknya terhadap RTRW dan limpasan permukaan di Kota Malang.

37 Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Malang Menggunakan Model CLUE-S



Sumber: Penulis, 2023

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tabel berikut menunjukkan jenis data primer dan sekunder yang digunakan dalam penelitian ini:

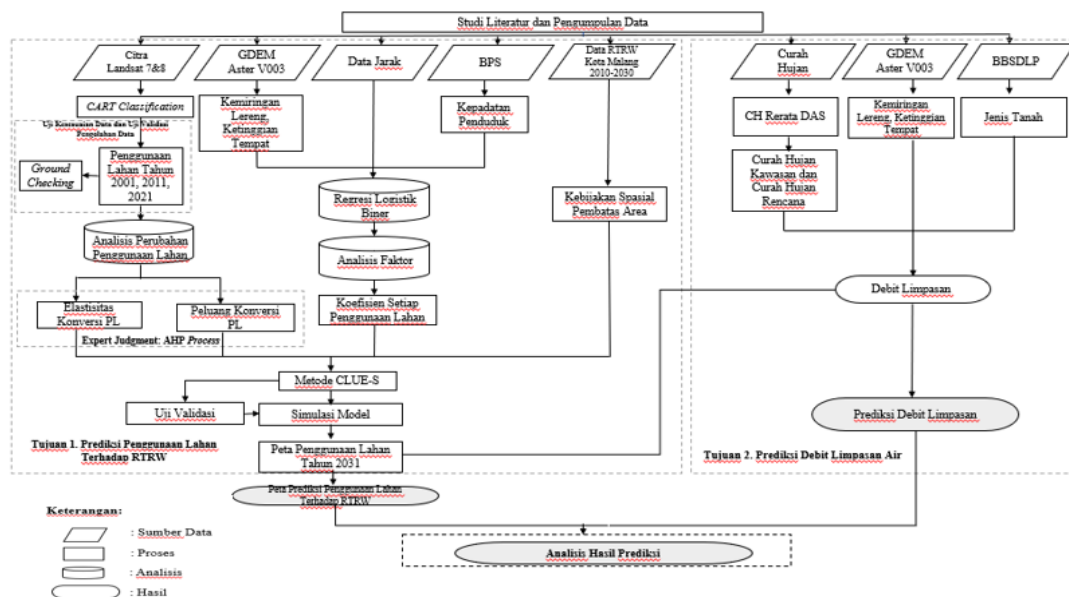
Tabel 1. Data Penelitian

Jenis Data	Data	Tahun	Sumber Data	Tujuan
Data Primer	Koordinat Titik Plot Validasi Penggunaan Lahan	Aktual	Ground Checking dari Uji Akurasi Data	Validasi Lapangan Titik Plot Penggunaan Lahan
	Elastisitas Konversi dan Peluang Konversi	-	Expert Judgement	Data Simulasi Model
Data Sekunder	Peta RBI dengan skala 1:50.000	Aktual	Badan Informasi Geospasial (BIG)	Kebutuhan Peta Dasar
	Peta Batas Administrasi Daerah	Aktual	BAPPEDA Kota Malang dan DPUPRKP Kota Malang	
	Citra Landsat 7	2001 2011	Google Earth Engine	Menganalisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Malang dengan klasifikasi CART (Classification and Regression Tree)
	Citra Landsat 8	2021		
	Kemiringan Lereng dan Ketinggian Tempat	-		
Geologi	-	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)		
Jarak ke Jalan	-			

Jenis Data	Data	Tahun	Sumber Data	Tujuan
Jarak ke Sungai Jarak ke Pusat Administrasi Jarak ke Pusat Aktivitas Ekonomi Kepadatan Penduduk		2021	BAPPEDA Kota Malang dan DPUPRPKP Kota Malang	
Jenis Tanah		-	Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Sumberdaya Lahan Pertanian (BBPSI SDLP)	
Curah Hujan		2001-2021	Dinas PUSDA Jawa Timur	Menghitung limpasan permukaan (<i>surface runoff</i>)
Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Malang		2010-2030 2022-2042	BAPPEDA Kota Malang dan DPUPRPKP Kota Malang	Kebijakan spasial pembatas area
Kebutuhan Penggunaan Lahan		2031	Data Penggunaan Lahan	Membangun model prediksi penggunaan lahan di Kota Malang
Peta Prediksi Penggunaan Lahan		2031	Hasil Simulasi Model CLUE-S	Analisis Penggunaan Lahan dan Limpasan Permukaan

Sumber: Penulis, 2023

Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Sumber:Penulis, 2023

Gambar 2. Alur Penelitian Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Malang Menggunakan Model CLUE-S

Analisis Data

Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap RTRW

Beberapa tahapan digunakan meliputi: pengolahan data citra satelit, klasifikasi citra, overlay peta perubahan, analisis faktor, analisis prediksi, dan simulasi model prediksi

perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan tahun 2001 dan 2011 menggunakan data citra Landsat 7, sedangkan data citra Landsat 8 digunakan untuk tahun 2021. Pengolahan penggunaan lahan dilakukan melalui *cloud computing* Google Earth Engine menggunakan klasifikasi terbimbing dengan metode CART (*Classification and Regression Tree*), proses pengolahan ini mengacu pada (Breiman, 2017). Uji regresi logistik biner digunakan untuk menentukan variabel yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan di Kota Malang. Untuk menghitung faktor prediktor perubahan penggunaan lahan satu persatu, metode *forward stepwise* digunakan. Apabila faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan penggunaan lahan, hasilnya dipertahankan dalam model. Persamaan regresi dapat diketahui dalam rumus berikut:

$$\text{Log} \left(\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_n x_{ni} \quad (1)$$

Keterangan: $\pi(x)$ = nilai peluang untuk variabel respons ke 1; β_0 = konstanta; $\beta_n x_{ni}$ = nilai koefisien untuk variabel prediktor ke 1 sampai n; x_{1-ni} = variabel prediktor ke 1 sampai pada pengubah tetap ke-I; n = jumlah variabel; $x_1 x_2 \dots x_n$ = faktor yang diduga mempengaruhi keberadaan penggunaan lahan.

Tahapan selanjutnya, membangun model CLUE-S dengan menggabungkan semua data yang telah diolah yaitu data yang diperoleh dari analisis perubahan penggunaan lahan yang telah divalidasi dengan data elastisitas dan konversi penggunaan lahan serta data kebutuhan penggunaan lahan dan hasil dari pengolahan regresi logistik biner untuk mengetahui koefisien setiap penggunaan lahan. Model CLUE-S ditinjau dari hubungan kemunculan tertentu dengan faktor pendorong yang berasal dari aspek fisik, aksesibilitas dan sosial.

Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan

Data curah hujan di wilayah kajian untuk analisis hidrologi digunakan untuk mengetahui debit banjir dalam berbagai periode waktu (Bachri, S., Aldianto, Y. E., Sumarmi, S., Utomo, K. S. B., & Fathoni, 2021). Tahapan analisis hidrologi meliputi analisis curah hujan maksimum, perhitungan data curah hujan rerata wilayah, uji konsistensi data hujan, perhitungan hujan rencana dan analisis debit limpasan air permukaan. Analisis curah hujan maksimum dilakukan pada 9 stasiun hujan yang berlokasi di Kota Malang dan sekitarnya. Metode *polygon thiessen* digunakan untuk perhitungan curah hujan rerata wilayah karena cocok untuk wilayah dengan stasiun hujan yang tidak merata (Bachri, S., Aldianto, Y. E., Sumarmi, S., Utomo, K. S. B., & Fathoni, 2021).

Data hujan diuji menggunakan metode statistik *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Metode ini menunjukkan konsistensi antara nilai kumulatif hujan dan nilai rata-rata (Abadi, M., & Ismu, 2016), dimana pengujian dilakukan untuk menguji kebenaran data karena kesalahan ketika pengukuran di lapangan (Ginting, 2021). Perhitungan hujan rencana dilakukan menggunakan distribusi probabilitas *Log Pearson Type III*, meliputi parameter kesesuaian yaitu koefisien kemiringan, koefisien variasi, serta koefisien kurtosis yang selanjutnya diuji menggunakan Uji Chi Kuadrat untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat menunjukkan distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan karena tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Intensitas hujan sebagai salah satu indikator penting dalam perhitungan debit banjir dengan metode rasional, dapat dihitung menggunakan rumus mononobe, persamaannya:

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2)$$

Keterangan: I = Intensitas hujan untuk lama hujan t (mm/jam); R_{24} = curah hujan (mm/hari); t = lamanya curah hujan (jam).

Metode rasional digunakan untuk analisis limpasan air permukaan selain itu 4 macam penggunaan termasuk penggunaan lahan eksisting tahun 2001, 2011, 2021 dan penggunaan lahan model CLUE-S tahun 2031. Perhitungan koefisien aliran atau persentase jumlah air yang dapat melimpas melalui permukaan tanah dari total air hujan yang jatuh pada suatu tempat (Yusuf et al., 2021). Dalam penelitian ini, nilai koefisien aliran (C) untuk metode rasional dapat dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Koefisien Aliran (C) untuk Metode Rasional

Penggunaan Lahan	Koefisien Limpasan
Badan Air	0.05
Lahan Terbangun	0.90
Permukiman	0.80
RTH	0.03
Pertanian Non Sawah	0.10
Sawah	0.15

Sumber: (Abadi, M., & Ismu, 2016; Yusuf, R. M., Rachmat, B., Barkah, M. N., & Arfiansyah, 2021) dengan modifikasi

Metode rasional mempertimbangkan banjir yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dalam DAS. Metode ini menunjukkan aliran naik secara bertahap dari titik nol hingga mencapai nilai konstan, dengan asumsi aliran naik terus menerus dan mengalir dari titik jauh ke outlet DAS (Rohman, 2020). Persamaan rasional dapat dilihat:

$$Q_p = 0,278 \times C \times I \times A \tag{3}$$

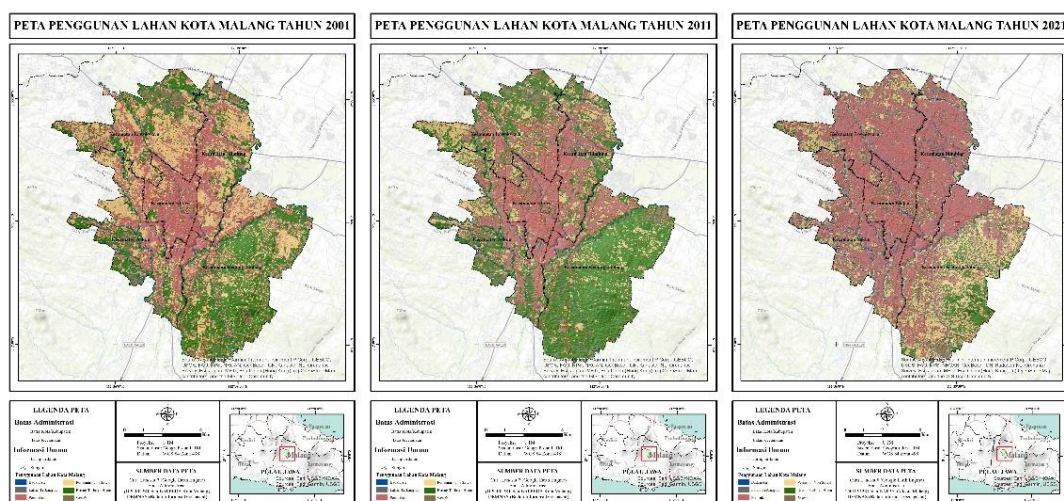
Keterangan: Qp = debit rencana (m³/detik); C = koefisien pengaliran; I = intensitas hujan; A= luas daerah pengaliran (km²).

Hasil dan Pembahasan

4.1. Penggunaan Lahan Terhadap RTRW

4.1.1. Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 2001-2021

Berdasarkan hasil pengolahan didapatkan peta penggunaan lahan Kota Malang tahun 2001, 2011, dan 2021 yang ditunjukkan pada Gambar 3. Faktor pilihan klasifikasi data, karakteristik spesifik lokasi dan pemilihan data sampel lokasi mempengaruhi uji akurasi pada penggunaan lahan (Karantanellis, E., Marinos, V., Vassilakis, E., & Christaras, 2020) dimana asumsi penilaian klasifikasi yang digunakan adalah jika nilai overall accuracy (>85%) maka hasil klasifikasi semakin akurat (Azizah, 2022).



Sumber: Olah Data Penulis, 2023

Gambar 3. Peta Penggunaan Lahan Kota Malang

Pada penelitian ini uji akurasi menggunakan *confusion matrix* menunjukkan nilai overall akurasi sebesar 0.914 untuk penggunaan lahan tahun 2001, 0.892 untuk tahun 2011 dan 0.936 untuk tahun 2021.

Tabel 6 menunjukkan bahwa penggunaan lahan Kota Malang tahun 2001 didominasi oleh RTH sebesar 33.50%, permukiman sebesar 30.70%, dan pertanian non sawah sebesar 30.33%. Kawasan RTH Kota Malang pada tahun 2001 diketahui menyebar di seluruh kecamatan namun paling mendominasi pada Kecamatan Kedungkandang, penyebarannya berasosiasi dengan sungai. Kawasan permukiman terlihat paling mendominasi bagian wilayah kota (BWK) Malang Tengah yaitu Kecamatan Klojen. Hal tersebut dikarenakan wilayah Kecamatan Klojen berdasarkan pada Peraturan Daerah Kota Malang Nomor 7 Tahun 2001 tentang RTRW Kota Malang Tahun 2001-2011 Pasal 10 ditetapkan sebagai pusat kota yang memiliki peran sebagai pusat pelayanan kegiatan kota seperti pusat pemerintahan, aktivitas ekonomi, sosial-budaya, fasilitas umum, dan pendidikan (Jamaludin, 2015), membuat penduduk Kota Malang cenderung tinggal di kawasan ini dikarenakan mendekati pusat pelayanan kota. Berdasarkan pada penelitian (Utaya, 2009), Kecamatan Klojen merupakan wilayah yang paling banyak mengalami transformasi lahan terbuka menjadi lahan terbangun. Sedangkan penggunaan lahan dengan klasifikasi pertanian non sawah dalam penelitian ini mendominasi di Kecamatan Lowokwaru.

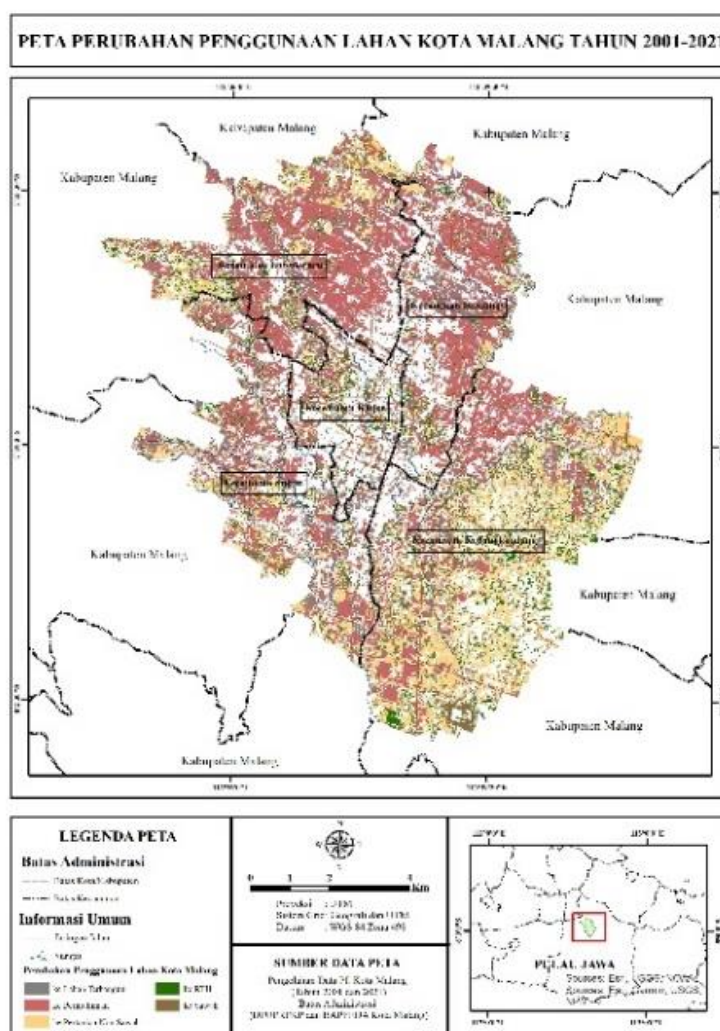
Pada tahun 2011, diketahui penggunaan lahan yang mendominasi Kota Malang adalah permukiman sebesar 40,97%, RTH sebesar 40.80% dan pertanian non sawah sebesar 10.23%. Berdasarkan hasil penelitian (Diinillah, A. S., & Sulistyarto, 2017), kondisi RTH Kota Malang tahun 2011 diketahui mengalami peningkatan dikarenakan adanya program CSR yang telah diatur dalam UU Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas, antara Tahun 2011-2017 ada 16 program CSR (*Corporate Social Responsibility*) yang dilaksanakan. Program-program ini termasuk revitalisasi Alun-Alun Merdeka Kota Malang, revitalisasi Taman Slamet, dan penataan kawasan pedestrian di Jl. Ijen. Kawasan permukiman di Kota Malang pada tahun 2011 mendominasi di bagian pusat kota dan menyebar di kawasan sekitarnya. Sedangkan untuk pertanian non sawah menyebar paling banyak di utara Kecamatan Blimbing, kawasan barat Kecamatan Lowokwaru, utara Kecamatan Sukun dan menyebar di Kecamatan Kedungkandang. Kota Malang pada tahun 2021, didominasi dengan permukiman sebesar 50.56%, pertanian non sawah sebesar 20.50% dan RTH sebesar 15.92%. Peningkatan luasan permukiman di Kota Malang terjadi di seluruh wilayah Kota Malang. Sedangkan untuk pertanian non sawah dan RTH mendominasi di Kecamatan Kedungkandang.

Luasan RTH dalam kurun waktu tahun 2011 hingga 2021 diketahui mengalami penurunan, hal ini didasarkan pada hasil penelitian (Haris, 2015) disebutkan bahwa pada kurun waktu ini diketahui RTH disepanjang sempadan rel kereta api dan sungai susah untuk diterapkan karena dialihfungsikan sebagai lahan permukiman. Mayoritas pembangunan yang dilakukan masyarakat Kota Malang tidak mempertimbangkan dampak lingkungan dalam jangka panjang. Selain pemerintah Kota Malang juga mengizinkan terjadinya pembangunan yang menyebabkan alih fungsi lahan seperti alih fungsi taman di Jalan Galunggung menjadi pom bensin, taman Indrakila di belakang Museum Brawijaya menjadi kawasan perumahan elit, hutan kota yang dialihfungsikan menjadi pusat pembelanjaan seperti Malang Town Square dan sebagian kawasan Stadion Gajayana yang berubah menjadi *Mall Olympic Garden* (MOG), serta kawasan permukiman yang mengubah hutan kota di bekas kampus Akademi Penyuluh Pertanian (APP) menjadi kawasan *Ijen Nirwana Residence*. Hal tersebut yang mendasari penurunan luasan RTH di Kota Malang. Perubahan penggunaan lahan di Kota Malang tahun 2001, 2011 dan 2021 dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 3. Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Malang Tahun 2001, 2011 dan 2021

Penggunaan Lahan	Area (km ²)			Perubahan Luasan (km ²)			Persentase Luasan (%)		
	2001	2011	2021	2001-2011	2011-2021	2001-2021	2001	2011	2021
Badan Air	1.00	1.09	0.06	-0.09	-1.03	-0.94	0.90	0.98	0.05
Lahan Terbangun	1.01	2.76	7.03	1.76	4.27	6.02	0.91	2.49	6.33
Permukiman	34.08	45.48	56.14	11.40	10.66	22.07	30.70	40.97	50.56
Ruang Terbuka Hijau (RTH)	37.19	45.29	17.68	8.11	-27.61	-19.51	33.50	40.80	15.92
Pertanian Non Sawah	33.66	11.35	22.77	-22.31	11.42	-10.90	30.33	10.23	20.50
Sawah	4.06	5.03	7.37	0.97	2.34	3.31	3.66	4.53	6.64
Total	110.06	110.06	110.06				100.00	100.00	100.00

Sumber: Olah Data Penulis, 2023



Sumber: Penulis, 2023

Gambar 4. Perubahan Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 2001-2021

43 Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Malang Menggunakan Model CLUE-S

Kondisi perkembangan penggunaan lahan di Kota Malang selama periode tahun 2001–2021 menunjukkan peningkatan dan penurunan luasan, ini dapat menandakan bahwa selama periode ini terjadi alih fungsi lahan di Kota Malang. Persebaran perubahan untuk masing-masing kelas penggunaan lahan ditunjukkan pada Tabel 7. dimana bagian kolom menunjukkan penambahan luasan dan bagian baris menunjukkan transisi perubahan lahan menjadi bentuk penggunaan lahan lainnya yang menandakan terjadi alih fungsi lahan.

Tabel 4. Matriks Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2001-2021

Penggunaan Lahan	BA	LT	P	PNS	RTH	S	Total Tahun 2001
BA	0.01	0.04	0.23	0.29	0.19	0.23	1.00
LT		0.16	0.66	0.15	0.06	0.03	1.01
P	0.00	2.61	25.57	2.98	2.18	0.72	34.08
PNS	0.01	2.52	20.48	5.63	3.84	1.13	33.66
RTH	0.03	1.44	7.92	12.75	10.86	4.10	37.19
S	0.01	0.24	1.25	0.91	0.50	1.14	4.06
Total Tahun 2021	0.06	7.03	56.14	22.77	17.68	7.37	110.06
BA	1.01	4.04	23.23	29.29	19.19	23.23	100
LT		15.09	62.26	14.15	5.66	2.83	100
P	0	7.66	75.07	8.75	6.40	2.11	100
PNS	0.03	7.50	60.93	16.75	11.43	3.36	100
RTH	0.08	3.88	21.35	34.37	29.27	11.05	100
S	0.25	5.93	30.86	22.47	12.35	28.15	100

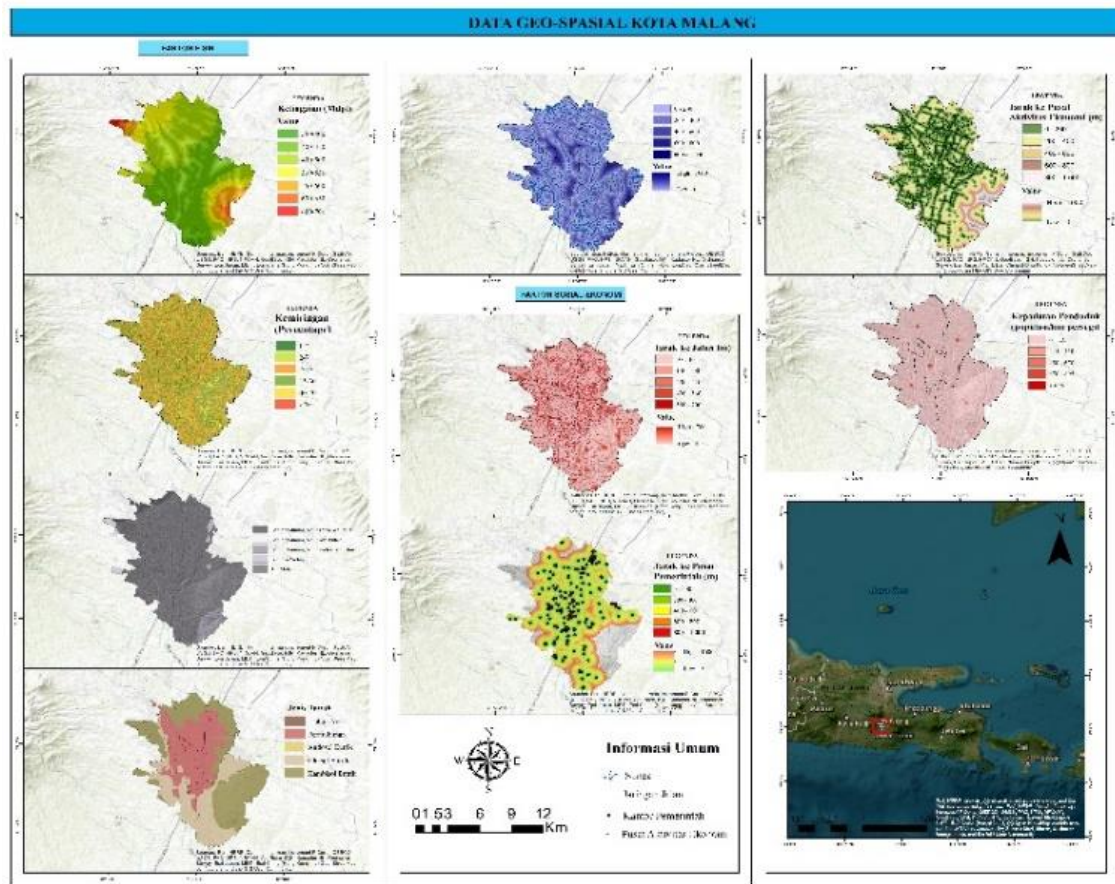
Ket: BA (Badan Air); LT (Lahan Terbangun); P (Permukiman); RTH (Ruang Terbuka Hijau); PNS (Pertanian Non Sawah); S (Sawah)

Sumber: Olah Data Penulis, 2023

Berdasarkan tabel diatas, alih fungsi lahan terbesar terlihat pada perubahan lahan RTH, pertanian non sawah dan sawah menjadi kawasan permukiman sebesar 21.35% (7.92 km²), 60.93% (20.48 km²) dan 30.86% (1.25 km²). Alih fungsi lahan terbesar juga terlihat pada perubahan luasan RTH menjadi pertanian non sawah sebesar 34.37% (12.75 km²). Hingga tahun 2021, masing-masing penggunaan lahan di Kota Malang memiliki luasan tersisa sebesar 1.01 % (0.01 km²) untuk badan air, 15.09% (0.16 km²) untuk lahan terbangun, 75.07% (25.57 km²) untuk permukiman, 16.75% (5.63 km²) untuk pertanian non sawah, 29.27% (10.68 km²) untuk RTH dan 28.15% (1.14 km²) untuk sawah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan penggunaan lahan di Kota Malang umumnya berubah menjadi kawasan permukiman.

4.1.2. Penerapan Pemodelan CLUE-S di Kota Malang

Berbagai data digunakan dalam input model CLUE-S meliputi data penggunaan lahan dan data faktor pendorong terjadinya perubahan penggunaan lahan di Kota Malang. Data yang diinput berupa data geospasial yang terbagi menjadi dua yaitu faktor fisik yang meliputi data elevasi, kemiringan lereng, geologi, jenis tanah dan jarak ke sungai sedangkan untuk faktor sosial-ekonomi meliputi jarak dari jalan, jarak dari pusat pemerintah, jarak dari pusat aktivitas ekonomi, dan data kepadatan penduduk. Data geospasial Kota Malang dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber:Penulis, 2023

Gambar 5. Data Geospasial Kota Malang

Berdasarkan hasil pengolahan data yang didasarkan pada klasifikasi Van Zuidam (Van Zuidam, 1985), Kota Malang merupakan daerah dengan topografi perbukitan dan perbukitan tinggi yang memiliki elevasi sebesar 350-750 mdpl dengan kemiringan yang didominasi dengan klasifikasi landai dengan area sebesar 43.52 km². Berdasarkan faktor geologinya, Kota Malang terdiri dari batuan tufa, tufa pasir, breksi gunung api, aglomerat, dan lava yang berasal dari aktivitas gunung api (Siswanto, 2020). Sedangkan jenis tanah Kota Malang didominasi dengan jenis tanah andosol eutrik, kambisol eutrik dan gleisol eutrik.

Nilai peluang pengalokasian untuk setiap jenis penggunaan lahan dalam model CLUE-S, dihitung melalui regresi logistik (analisis statistik), yang mengaplikasikan metode *forward: conditional* dengan penerapan nilai probabilitas *entry* sebesar 0.01 dan *remove* sebesar 0.02, karena memiliki data dengan jumlah banyak. Hasil yang dipertahankan dalam model nantinya tidak akan melebihi angka yang sudah ditetapkan. Hasil dari analisis regresi berupa nilai β (unsur yang memengaruhi keberadaan masing-masing jenis penggunaan lahan) dan $Exp(\beta)$ (peluang perubahan setiap jenis penggunaan lahan). Hasilnya dapat ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 5. Hasil Logistik Regresi Penggunaan Lahan di Kota Malang

Penggunaan Lahan Variabel Prediktor	BA		LT		P		RTH		PNS		S	
	β	Exp (β)	β	Exp (β)	β	Exp (β)	β	Exp (β)	B	Exp (β)	β	Exp (β)
Jarak dari Sungai	3.072	5.779	-2.948	0.052	-4.195	0.015	4.880	131.686			-	0.000
Jarak dari Jalan					3.518	33.729	2.433	11.393			-	0.000
Jarak dari Pusat Pemerintah	1.754	0.003	-1.049	0.350	-2.465	0.085	1.708	5.517				
Jarak dari Pusat Aktivitas Ekonomi					-2.801	0.061			-0.559	0.572		
Kemiringan Lereng					0.096	1.100	-0.046	0.955	-0.068	0.934		
Geologi			0.186	1.204	0.123	1.130	-0.200	0.819	0.088	1.091		
Ketinggian Tempat			0.104	1.110	0.038	1.039	-0.111	0.895	0.093	1.097		
Jenis Tanah					0.080	1.083	-0.126	0.881	0.080	1.084	0.291	1.338
Kepadatan Penduduk												
Constant		-5.944		-2.275		-0.535		-3.448		-0.858		6.078
Nilai ROC		0.583		0.630		0.645		0.642		0.574		0.642

Ket: BA (Badan Air); LT (Lahan Terbangun); P (Permukiman); RTH (Ruang Terbuka Hijau); PNS (Pertanian Non Sawah); S (Sawah)

Sumber: Olah Data Penulis, 2023

Berdasarkan pada Tabel 8. Diketahui persebaran penggunaan lahan di Kota Malang dipengaruhi oleh beberapa variabel prediktor. Nilai positif pada masing-masing faktor prediktor menunjukkan bahwa peningkatan yang terjadi akibatnya akan meningkatkan persebaran/munculnya penggunaan lahan di Kota Malang. Sedangkan nilai negatif pada semua komponen prediktor menunjukkan bahwa peningkatan yang terjadi pada faktor prediktor akan menurunkan persebaran penggunaan lahan di Kota Malang.

Untuk input dalam model CLUE-S digunakan matriks konversi penggunaan lahan dan nilai elastisitas konversi. Data ini berasal dari *expert judgment* yang diolah menggunakan software Expert Choice 11. Berikut ditunjukkan pada Tabel 9. Dan Tabel 10.

Tabel 6. Matriks Konversi Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan Masa Depan / Penggunaan Lahan Masa Kini	Penggunaan Lahan Masa Depan					
	Badan Air	Lahan Terbangun	Permukiman	Ruang Terbuka Hijau (RTH)	Pertanian Non Sawah	Sawah
Badan Air	1	0	0	0	0	0
Lahan Terbangun	0	1	1	1	1	1
Permukiman	0	1	1	1	1	1
Ruang Terbuka Hijau (RTH)	1	0	0	1	1	1
Pertanian Non Sawah	1	1	1	1	1	1
Sawah	1	1	1	1	1	1

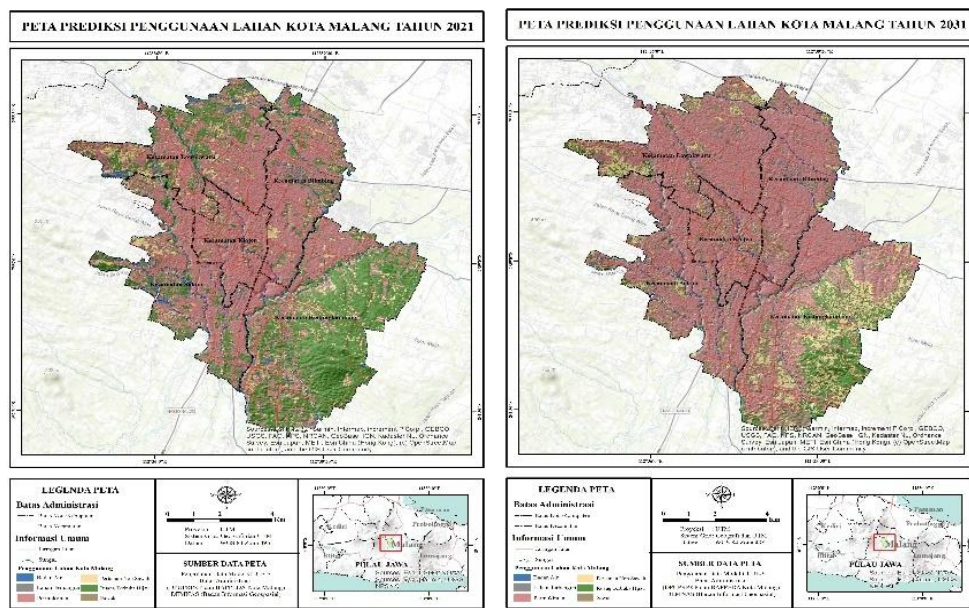
Sumber: Hasil Kuesioner Expert Judgment, 2023

Tabel 7. Nilai Elastisitas Penggunaan Lahan

	Klasifikasi Penggunaan Lahan					
	BA	LT	P	RTH	PNS	S
Elastisitas Konversi	0.50	0.20	0.35	0.35	0.85	0.80

Sumber: Hasil Pengolahan Expert Choice, 2023

Data penggunaan lahan tahun 2001 dan 2011 digunakan untuk memprediksi penggunaan lahan tahun 2021. Hasil prediksi kemudian dibandingkan dengan penggunaan lahan tahun aktual 2021 yang memiliki overall kappa sebesar 0.873 berdasarkan pada hasil *ground checking* yang telah dilakukan. Hasil validasi model prediksi CLUE-S dengan peta penggunaan lahan tahun 2021 menghasilkan nilai sebesar $Kno = 0.8082$; $Klocation = 0.9125$, $KlocationStrata = 0.9125$ dan $Kstandard = 0.7495$. Dimana nilai ini dapat diterima, memiliki kesepakatan yang sangat baik, memiliki interpretasi yang kuat karena memiliki nilai >0.80 (Prasetyo, D. P., Bachri, S., & Wiwoho, 2017). Ini menunjukkan bahwa model yang digunakan sudah sesuai untuk memproyeksikan perubahan penggunaan lahan di masa depan. Hasil dari model simulasi ditunjukkan pada Gambar 6. untuk tahun 2021 dan Gambar 7. untuk tahun 2031.



Sumber:Penulis, 2023

Gambar 6. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 2021; Gambar (7). Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 2031

Hasil simulasi penggunaan lahan model CLUE-S tahun 2031 menunjukkan penambahan luasan lahan terbangun, permukiman dan sawah. Sedangkan pada penggunaan lahan lain seperti badan air, RTH dan pertanian non sawah mengalami penurunan luasan. Diketahui Kota Malang pada tahun 2031 didominasi oleh penggunaan lahan permukiman yang menyebar di seluruh bagian kota dan penggunaan lahan seperti RTH, pertanian non sawah dan sawah mendominasi Kecamatan Kedungkandang.

Berdasarkan hasil penelitian oleh (Rofii, 2021) perkembangan penggunaan lahan terbangun di kawasan Malang meliputi Kota Malang dan Kabupaten Malang dipengaruhi oleh pertumbuhan pusat kota dengan bentuk perembetan mengelompok dan memanjang. Perkembangan ini mengikuti jaringan jalan menuju kawasan Wagir, Kabupaten Malang. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian bahwa perkembangan kawasan permukiman untuk prediksi tahun 2031 dengan pemodelan CLUE-S, perkembangannya mendominasi ke arah barat daya dengan pertambahannya dipengaruhi oleh jarak dari jalan. Untuk masing-masing luasan pada tahun 2031 dijelaskan pada Tabel 11.

Tabel 8. Luasan Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 2031 Menggunakan Model CLUE-S

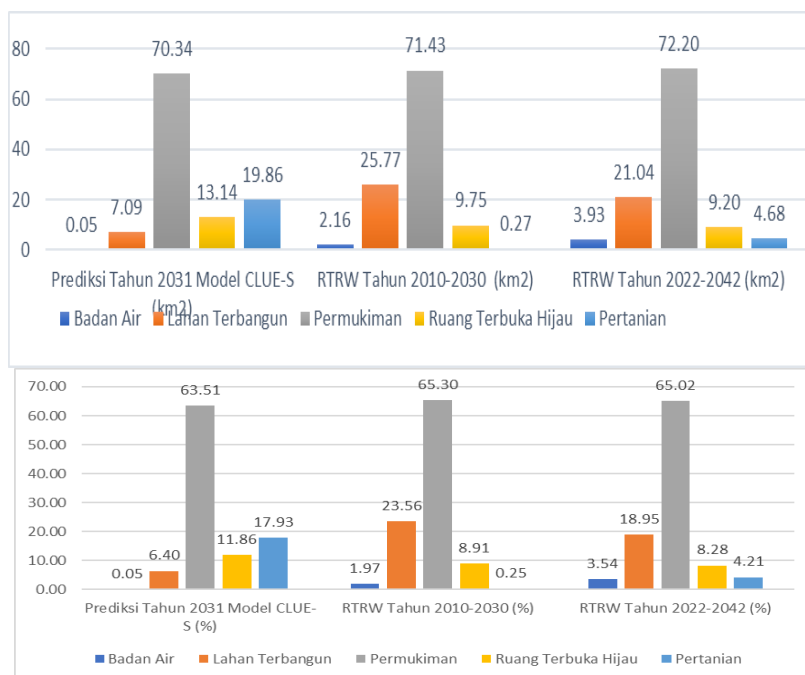
	Klasifikasi Penggunaan Lahan					
	BA	LT	P	RTH	PNS	S
Luasan (km ²)	0.05	7.09	70.34	13.14	12.25	7.61
Persentase (%)	0.05	6.40	63.51	12.11	11.06	6.87

Sumber: Olah Data Penulis, 2023

4.1.3. Penggunaan Lahan Model CLUE-S Terhadap RTRW Kota Malang Tahun 2010-2030 dan Tahun 2022-2042

Berdasarkan Gambar 8. diketahui bahwa luasan prediksi menggunakan CLUE-S dan hasil RTRW tahun 2010-2030 serta tahun 2022-2042 memiliki luasan paling sedikit yang ditunjukkan pada penggunaan lahan badan air, pertanian, RTH serta lahan terbangun. Sedangkan permukiman paling mendominasi di Kota Malang baik dalam hitungan prediksi maupun rencana pola ruang berdasarkan RTRW Kota Malang.

Penggunaan lahan sawah pada rencana pola ruang RTRW oleh Pemerintah Kota Malang diatur satu kesatuan menjadi kawasan pertanian. Luasan pertanian yang direncanakan hanya sebesar 0.25% pada RTRW tahun 2010-2030 dan sebesar 4.21% pada RTRW tahun 2022-2042, dimana nilai ini dianggap rendah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Prihatin, 2016), angka perubahan lahan tanaman pangan di sejumlah kabupaten justru menurun setelah ditetapkan rencana tata ruang. Perubahan fungsi lahan pertanian yang dilakukan secara masif akan berimplikasi pada ketahanan dan kedaulatan pangan. Sedangkan untuk RTH yang diatur dalam Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang seharusnya memiliki proporsi sebesar 30% dari total luasan area sebesar RTH publik 20% dan RTH privat 10%. Namun, berdasarkan pada hasil prediksi maupun rencana pola ruang RTRW, luasan RTH di Kota Malang hanya sebesar 11.86%, 8.91% dan 8.28%. Nilai ini mengindikasikan bahwa ketetapan RTH yang direncanakan oleh pemerintah Kota Malang dapat dikatakan masih rendah jika mengacu pada undang-undang yang telah ditetapkan. Apabila implementasi RTRW di Kota Malang tetap dilakukan dan keadaannya nantinya mengalami penyimpangan pada RTH akan berdampak pada terganggunya sistem tata air khususnya meningkatkan volume air permukaan (Hidayat, 2020). Hasil luasan prediksi terhadap RTRW Kota Malang dan luasan penyimpangan model CLUE-S terhadap RTRW Kota Malang Tahun 2010-2030 dapat dilihat pada Gambar 8. dan Gambar 9.



Sumber:Penulis, 2023

Gambar 7. Luasan Prediksi Model CLUE-S dengan RTRW Kota Malang



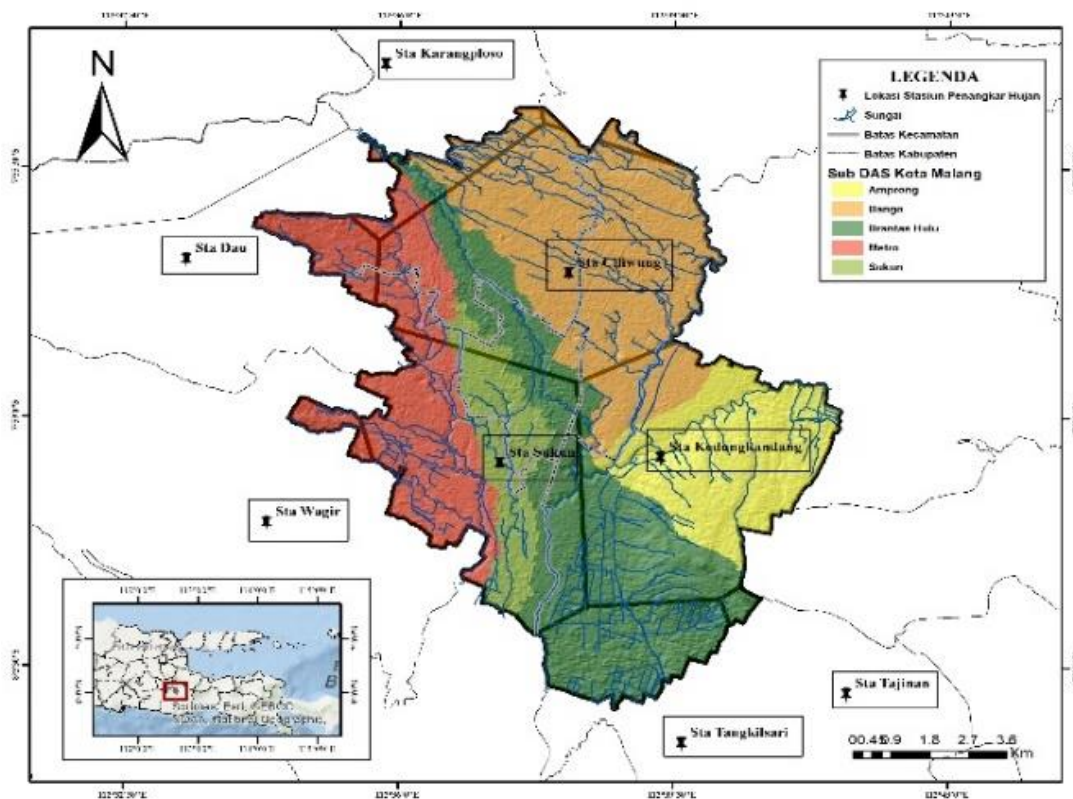
Sumber:Penulis, 2023

Gambar 8. Luas Penyimpangan Model CLUE-S dengan RTRW Kota Malang Tahun 2010-2030

4.2. Penggunaan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan

Berdasarkan data curah hujan dalam kurun waktu tahun 2001-2021 yang didapatkan dari 9 stasiun pengamatan hujan diketahui memiliki curah hujan maksimum sebesar 189 mm/hari yang terjadi pada tanggal 22 November 2020, sedangkan untuk curah minimum terjadi pada tanggal 1 Juni 2007 dengan curah hujan sebesar 35 mm/hari.

Berdasarkan Tabel 12, stasiun hujan ciliwung memiliki pengaruh terbesar dengan persentase sebesar 32.89% (36.51 km²), sedangkan stasiun hujan tajinan memiliki pengaruh terkecil dengan persentase sebesar 0.47% (0.52 km²). Hasil perhitungan hujan rerata wilayah ditunjukkan pada Tabel 13. Untuk menghindari kesalahan pengukuran di lapangan dilakukan pengujian data dengan metode statistik *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS), hasilnya menunjukkan nilai $Q/n^{0.5}$ sebesar 0.53 dan nilai $R/n^{0.5}$ sebesar 0.87, dengan derajat kepercayaan sebesar 95% yang menunjukkan bahwa data tersebut konsisten.



Sumber:Penulis, 2023

Gambar 9. Peta Thiessen Kota Malang**Tabel 9. Daerah Pengaruh Hujan Metode Thiessen**

No.	Stasiun Hujan	Luas Daerah Pengaruh (km ²)	Koef. Thiessen	Persentase Pengaruh (%)
1	Stasiun Hujan Karangploso	3.86	0.0348	3.48
2	Stasiun Hujan Singosari	0.59	0.0053	0.53
3	Stasiun Hujan Ciliwung	36.51	0.3289	32.89
4	Stasiun Hujan Kedungkandang	30.06	0.2708	27.08
5	Stasiun Hujan Sukun	26.41	0.2379	23.79
6	Stasiun Hujan Dau	3.40	0.0306	3.06
7	Stasiun Hujan Wagir	1.14	0.0103	1.03
8	Stasiun Hujan Tangkilsari	8.53	0.0768	7.68
9	Stasiun Hujan Tajinan	0.52	0.0047	0.47
		110.06		100.00

Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2023

Tabel 10. Hujan Kawasan Kota Malang

No.	Tahun	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	Hujan Maksimum Rerata
	Koef. Thiessen	0.0348	0.0053	0.3289	0.2708	0.2379	0.0306	0.0103	0.0768	0.0047	
1	2001	3.41	0.43	25.65	82.00	26.64	2.91	1.33	7.22	0.43	150.02
2	2002	3.34	0.47	34.53	30.05	23.07	2.88	1.130	7.91	0.43	103.82
3	2003	3.27	0.39	37.16	53.88	28.55	3.22	0.87	7.15	0.49	134.97
4	2004	3.55	0.41	65.77	29.24	23.31	2.33	1.17	6.61	0.52	132.91
5	2005	3.58	0.39	34.20	23.01	41.87	2.05	1.13	7.30	0.30	113.84
6	2006	3.20	0.56	34.20	15.43	30.93	2.30	0.77	5.69	0.37	93.44
7	2007	2.61	0.19	38.81	33.85	36.16	2.88	1.18	9.60	0.59	125.86
8	2008	3.62	0.56	31.24	39.26	30.93	3.37	1.39	5.53	0.33	116.22
9	2009	2.40	0.74	24.01	23.01	25.69	2.57	1.33	5.92	0.37	86.05
10	2010	6.61	0.66	61.17	33.85	42.34	3.37	1.64	9.60	0.37	159.61
11	2011	3.16	0.49	37.16	24.64	24.03	2.60	1.54	3.76	0.28	97.67
12	2012	3.75	0.48	45.38	23.56	40.20	2.97	1.08	5.53	0.32	123.28
13	2013	2.68	0.59	31.90	27.62	24.03	2.60	0.81	6.22	0.36	96.80
14	2014	3.65	0.58	41.11	27.89	31.88	3.06	1.03	5.07	0.33	114.60
15	2015	2.33	0.46	31.57	29.78	40.44	1.99	1.28	6.22	0.30	114.38
16	2016	2.16	0.81	21.05	23.83	26.64	2.30	1.54	7.22	0.53	86.08
17	2017	3.23	0.53	34.20	28.70	31.40	3.22	1.18	9.07	0.34	111.87
18	2018	3.20	0.67	34.20	27.62	31.40	2.91	1.19	6.15	0.41	107.75
19	2019	2.33	0.48	26.97	36.55	32.11	2.85	1.19	6.38	0.34	109.20
20	2020	2.68	0.43	31.90	30.67	29.74	4.44	1.94	6.45	0.46	108.71
21	2021	3.82	0.41	40.45	32.50	31.64	2.91	1.28	9.60	0.40	123.03

(*) Ket: 1) Stasiun Hujan Karangploso; 2) Stasiun Hujan Singosari; 3) Stasiun Hujan Ciliwung; 4) Stasiun Hujan Kedungkandang; 5) Stasiun Hujan Sukun; 6) Stasiun Hujan Dau; 7) Stasiun Hujan Wagir; 8) Stasiun Hujan Tangkilsari; 9) Stasiun Hujan Tajinan

Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2023

Dalam penelitian ini agihan data untuk distribusi normal dan gumbel tidak memenuhi, sehingga digunakan distribusi probabilitas *Log Pearson Type III*, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 14. Curah hujan rencana periode 10 tahun digunakan dalam penelitian ini, karena disesuaikan dengan simulasi penggunaan lahan. Pada tahun 2031 setidaknya diperkirakan akan turun hujan dengan curah hujan sebesar 140,23 mm/hari. Setelah perhitungan curah hujan rencana dilakukan, langkah berikutnya analisis kesesuaian data menggunakan Uji Chi Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov. Hasilnya untuk Uji Chi Kuadrat dengan derajat signifikansi 5% memiliki nilai $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}$ yaitu $3.75 < 5.99$. Sedangkan untuk hasil Uji Smirnov-Kolmogorov dengan derajat signifikansi 5% memiliki nilai $D_{hitung} < D_{tabel}$ dengan nilai $0.166 < 0.286$. Keduanya memiliki asumsi bahwa distribusi dapat diterima.

Tabel 11. Perhitungan Hujan Rancangan Menggunakan Log Pearson III

T (Tahun)	Periode Hujan					
	2	5	10	25	50	100
P (%)	50	20	10	4	2	1
Nilai Kt	-0.04	0.84	1.31	1.84	2.18	2.49
Log Xr + Kt x Log X						
Hasil (t)	2.05	2.11	2.15	2.18	2.21	2.23
Curah Hujan (mm)	112.62	129.82	140.23	154.64	161.32	169.72

Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2023

Intensitas hujan diukur menggunakan metode mononobe. Sering kali, semakin singkat hujan, intensitas hujan cenderung tinggi dan semakin besar periode ulangnya semakin tinggi pula intensitasnya (Abadi, M., & Ismu, 2016). Nilai intensitas hujan rencana yang diperoleh dari Kurva IDF diperlukan untuk metode perhitungan debit rencana non hidrograf yaitu metode rasional.

Untuk menghitung waktu konsentrasi, metode Kiprich digunakan dalam penelitian ini. Waktu konsentrasi (t_c) adalah jumlah waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik jauh ke titik *outlet* DAS (titik kontrol) setelah tanah jenuh dan depresi kecil terpenuhi. Berdasarkan hasil perhitungan waktu konsentrasi (t_c) diketahui memiliki nilai sebesar 5.96 jam. Waktu ini menunjukkan waktu pengaliran air hujan hingga menjadi limpasan air permukaan. Selanjutnya waktu konsentrasi dijadikan dasar perhitungan untuk intensitas hujan rancangan di Kota Malang.

Koefisien pengaliran limpasan dihitung secara *time series* mulai tahun 2001-2031. Data penggunaan lahan tahun 2001, 2011, dan 2021 yang merupakan penggunaan lahan eksisting dan prediksi penggunaan lahan tahun 2031 yang telah diolah menggunakan model CLUE-S digunakan sebagai dasar untuk kalkulasi koefisien pengaliran limpasan. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 12. Koefisien Pengaliran Limpasan

Kota Malang	Eksisting			Model Simulasi Penggunaan Lahan
	C2001	C2011	C2021	C2031
Nilai Koefisien Pengaliran Limpasan	0.30	0.38	0.50	0.59

Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2023

Berdasarkan pada Tabel 16 diketahui Kota Malang memiliki rentang koefisien pengaliran sebesar 0.30-0.59 yang menunjukkan peningkatan koefisien pengaliran di Kota Malang. Hal yang mendasari perubahan dikarenakan terjadi perubahan penggunaan lahan, umumnya memiliki nilai koefisien pengaliran terbesar yaitu permukiman dan memiliki nilai koefisien pengaliran terkecil yaitu RTH. Dengan nilai C yang tinggi, ancaman erosi dan banjir akan meningkat karena sebagian air hujan berubah menjadi limpasan.

Tabel 13. Debit Limpasan Permukaan Metode Rasional Periode Ulang Tertentu

Qt	Eksisting		Model CLUE-S	
	ΣQ_{2001} (m ³ /s)	ΣQ_{2011} (m ³ /s)	ΣQ_{2021} (m ³ /s)	ΣQ_{2031} (m ³ /s)
Q2	109.08	138.12	180.54	214.73
Q5	135.43	171.48	224.15	266.60
Q10	146.30	185.24	242.13	287.99
Q25	159.24	201.63	263.56	313.48
Q50	168.30	213.10	278.55	331.30
Q100	177.06	224.20	293.05	348.55

Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2023

Perhitungan debit limpasan permukaan dilakukan dengan metode rasional yang dilakukan secara *time series* dari tahun 2001-2031. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 17, diketahui Kota Malang memiliki peningkatan nilai debit limpasan permukaan sepanjang tahun 2001 hingga tahun 2031. Debit limpasan tersebut mengacu pada total debit limpasan permukaan di Kota Malang. Perhitungan limpasan permukaan per penggunaan lahan digunakan periode ulang 10 tahun, dengan menyesuaikan simulasi penggunaan lahan.

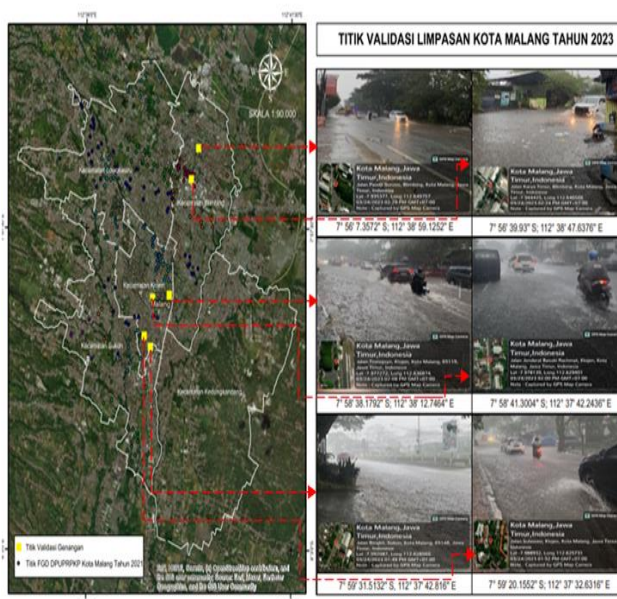
Tabel 14. Perhitungan Limpasan Permukaan Per Penggunaan Lahan Periode Ulang Limpasan 10 Tahun

Penggunaan Lahan di Kota Malang	Eksisting				Model CLUE-S			
	Q2001 (m ³ /s)	Q2001 (%)	Q2011 (m ³ /s)	Q2011 (%)	Q2021 (m ³ /s)	Q2021 (%)	Q2031 (m ³ /s)	Q2031 (%)
Badan Air	0.22	0.18	0.24	0.14	0.01	0.01	0.01	0.00
Lahan Terbangun	4.01	3.20	11.00	6.38	28.00	12.33	28.26	10.18
Permukiman	120.73	96.44	161.13	93.40	198.91	87.59	249.20	89.77
Ruang Terbuka Hijau (RTH)	0.05	0.04	0.06	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01
Pertanian Non Sawah	0.15	0.12	0.05	0.03	0.10	0.04	0.05	0.02
Sawah	0.03	0.02	0.03	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02
Total	125.19	100	172.51	100	227.09	100	277.60	100

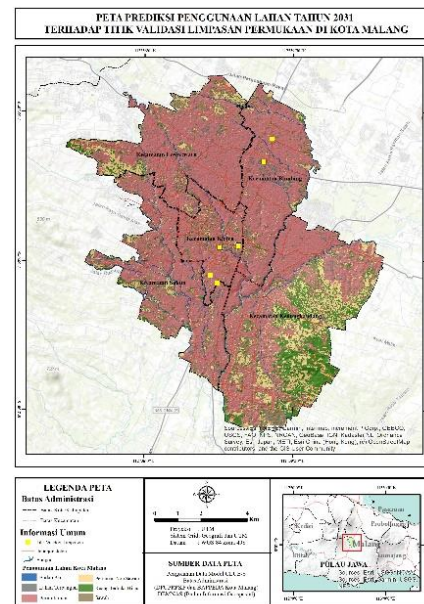
Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2023

Berdasarkan hasil perhitungan limpasan permukaan yang dihitung secara *time series* dari tahun 2001-2031 merujuk pada tabel 18. diketahui permukiman menyumbang limpasan permukaan tertinggi di Kota Malang. Peningkatan total limpasan dalam kurun waktu ini adalah sebesar 152.41 m³/detik. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan permukiman yang semakin cepat dari tahun 2001-2031, sehingga lahan dengan klasifikasi lain semakin menyempit. Akibatnya, air hujan yang jatuh di atas tanah sulit meresap, sehingga menjadi limpasan permukaan.

Berdasarkan pada hasil FGD (*Focus Group Discussion*) oleh Seksi Drainase DPUPRPKP Kota Malang, diketahui sepanjang tahun 2021 terdapat 25 titik permasalahan banjir/genangan. Titik tersebut kemudian divalidasi di tahun 2023, dimana berdasarkan hasil lapangan yang dilakukan, total hujan yang terjadi pada saat itu memiliki nilai sebesar 21 mm dalam kurun waktu 6 jam terakhir. Terdapat dua titik limpasan yang sama yaitu di Jalan Karya Timur, Kecamatan Blimbing yang merupakan bagian dari Sub-DAS Bango dan di Jalan Trunojoyo, Kecamatan Kidul Dalem yang merupakan bagian Sub-DAS Brantas Hulu. Berdasarkan perhitungan hasil limpasan yang telah dilakukan, diketahui titik validasi limpasan Kota Malang dapat ditunjukkan pada Gambar 13.



Sumber:Penulis, 2023



Sumber:Penulis, 2023

Gambar 10. Peta Validasi Limpasan Kota Malang Tahun 2023

Gambar 11. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2031 Terhadap Titik Validasi Limpasan Permukaan di Kota Malang

Berdasarkan Gambar 14. titik validasi limpasan permukaan pada tahun 2023 diaplikasikan pada peta prediksi penggunaan lahan tahun 2031, hasilnya titik validasi tersebut berada pada titik lahan terbangun dan permukiman. Penggunaan lahan dinilai dinamis karena selalu mengikuti perkembangan fisik kota. Sehingga, memerlukan pengelolaannya untuk mengurangi laju limpasan permukaan. Hal ini karena perubahan yang mengacu pada perkembangan lahan terbangun akan berakibat pada besarnya koefisien limpasan permukaan (Kurniawan, 2021). Sehingga apabila tidak diimbangi dengan adanya antisipasi seperti pengoptimalan saluran drainase dan sumur resapan sebagai satu sistem pengendali banjir di daerah perkotaan dikemudian hari, maka dengan tidak mungkin akan terjadi permasalahan lingkungan seperti limpasan permukaan yang tidak terkendali.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan CLUE-S secara efektif memprediksi tren konversi RTH menjadi lahan terbangun di Kota Malang dan menguantifikasi dampaknya terhadap peningkatan limpasan permukaan. Hasil penelitian menunjukkan luasan area permukiman pada tahun 2031 sebesar 70.34 km² (63.51%). Sedangkan pada RTRW Kota Malang tahun 2010-2030, pengalokasian kawasan permukiman diketahui memiliki luasan sebesar 71.43 km² atau 65.30% dari total luasan wilayah dan pada RTRW Kota Malang tahun 2022-2042 diketahui memiliki luasan sebesar 72.20 km² atau 65.02% dari total luasan wilayah. Berdasarkan hasil prediksi penggunaan lahan tahun 2031 terhadap debit limpasan permukaan yang dihitung menggunakan periode ulang limpasan 10 tahun diketahui memiliki peningkatan debit di Kota Malang pada tahun 2031. Penggunaan lahan yang menyumbang limpasan permukaan tertinggi adalah penggunaan lahan permukiman dengan masing-masing debit limpasan adalah 96.44% (120.73 m³/s) pada tahun 2001, 93.40% (161.13 m³/s) pada tahun 2011, 87.59% (198.91 m³/s) pada tahun 2021, dan 89.77% (249.20 m³/s) pada tahun 2031. Sedangkan berdasarkan hasil perhitungan limpasan permukaan secara *time series* dari tahun 2001-2031 diketahui

sepanjang waktu ini terjadi peningkatan total limpasan di Kota Malang sebesar 18.99% atau 151.42 m³/s. Hal ini disebabkan oleh perubahan tata guna lahan yaitu pertumbuhan permukiman yang semakin cepat dari tahun 2001-2031 di Kota Malang. Temuan ini menyediakan landasan empiris bagi pemerintah daerah untuk mengevaluasi kebijakan RTRW dan berfungsi sebagai sistem peringatan dini untuk mitigasi risiko banjir melalui intervensi tata ruang yang terarah. Sehingga dalam kerangka kerja metodologis yang mengintegrasikan model perubahan lahan spasial dengan analisis hidrologis kuantitatif dapat diterapkan dalam konteks perkotaan serupa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua atas dukungan, bimbingan dan kasih sayang tidak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditunjukkan kepada Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Malang serta dosen pembimbing dan dosen penguji yang telah membimbing serta memberikan dukungan dan masukan untuk keberhasilan penelitian ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada BAPPEDA Kota Malang, DPUPRPKP Kota Malang, Dinas PUSDA Jawa Timur, dan BBPSI SDLP terkait ketersediaan untuk menjadi *expert judgment* dan memberikan dukungan berupa ketersediaan data yang dibutuhkan penulis untuk penyelesaian penelitian.

Daftar Pustaka

- Abadi, M., & Ismu, T. (2016). *Kajian Limpasan Air Permukaan di Sub Das Metro Kota Malang*. Universitas Negeri Malang.
- Azizah, V. A. (2022). Deteksi Perubahan Jalur Lahar di Curah Lengkong Pasca-Erupsi Gunungapi Semeru Tahun 2021 Menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan*, 7(1), 70–93.
- Bachri, S., Aldianto, Y. E., Sumarmi, S., Utomo, K. S. B., & Fathoni, M. N. (2021). Flood Modelling of Badeng River Using Hec-Ras in Singojuruh Sub District, Banyuwangi Regency, East Java, Indonesia. *Jurnal Geografi*, 13(1), 76–87.
- Badan Pusat Statistik Kota Malang. (2022). *Kota Malang dalam Angka 2022* (Badan Pusat Statistik Kota Malang, Ed.). Badan Pusat Statistik Kota Malang.
- Breiman, L. (2017). *Classification and Regression Trees*.
- Diinillah, A. S., & Sulistyarsa, H. (2017). Preferensi Pemerintah Terhadap Pengembangan Ruang Terbuka Hijau Publik di Kota Malang melalui Program Corporate Social Responsibility (CSR). *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), C225–C228.
- Ginting, S. (2021). Analisis Curah Hujan Penyebab Banjir Bandang di Ujung Berung, Bandung. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 2(2).
- Haris, H. S. (2015). *Efektifitas Pasal 16 Peraturan Daerah Nomor 4 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Malang Tahun 2010-2030 Terkait dengan Ruang Terbuka Hijau Bagi Masyarakat (Studi di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah & Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kot*. Universitas Brawijaya.
- Hidayat, M. Y. (2020). *Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Model CLUE-S untuk Tata Ruang Kota Bogor Tahun 2031*. Universitas Negeri Malang.
- Huang D, Huang J, L. T. (2019). Delimiting Urban Growth Boundaries Using the CLUE-S Model with Village Administrative Boundaries. *Land Use Policy*, 82, 422–435.
- Jamaludin, A. N. (2015). *Sosiologi Perkotaan: Memahami Masyarakat Kota dan Problematikanya*.
- Karantanellis, E., Marinos, V., Vassilakis, E., & Christaras, B. (2020). Object Based Analysis using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Sitespecific Landslide Assessment. *Remote Sensing*, 12(11), 1711.
- Kurniawan, I. (2021). Projecting Land Use Changes and Its Consequences for Hydrological Response in the New Capital City of Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012044.
- M, B. (1997). *Prinsip Dan Metode Riset Epidemiologi*. UGM Press.
- Munibah, K. (2010). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Erosi di DAS Cidanau, Banten. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 32, 55–59.
- Nasiakou, S., Vrahnakis, M., Chouvardas, D., Mamanis, G., Kleftoyanni, V. (2022). Land Use Changes for

- Investments in Silvoarable Agriculture Projected by the CLUE-S Spatio-Temporal Model. *Land*, 11(15), 598. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land11050598>
- Prasetyo, D. P., Bachri, S., & Wiwoho, B. S. (2017). *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, Dan Praktek Dalam Bidang Pendidikan Dan Ilmu Geografi*, 22(1), 32–48.
- 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>
- Ramadhan, I. K. B. (2020). Prediksi Debit Limpasan Air Permukaan pada Daerah Rawan Banjir di Kabupaten Jombang berdasarkan Pemodelan Penggunaan Lahan. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), C56–C63.
- Ridwan, F. (2017). *Pemodelan Perubahan Penutupan/Penggunaan Lahan Dengan Pendekatan Artificial Neural Network dan Logistic Regression (Studi Kasus: Das Citarum, Jawa Barat)*.
- Rofii, I. (2021). Model Perubahan Penggunaan Lahan Di Wilayah Peri Urban Kota Malang. *Indonesian Journal of Spatial Planning*, 2(1), 28–35.
- Rohman, H. (2020). *Analisa Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan DAS Welang Terhadap Debit Banjir Kali Welang Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Siswanto, Y. (2020). *Analisis Perubahan Luasan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Permukaan Tanah di Kota Malang Tahun 1999-2019*. Universitas Negeri Malang.
- Sudarto. (2010). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Peningkatan Aliran Permukaan: Studi Kasus di Das Gatak, Surakarta. *Jurnal Purifikasi*, 11, 20–40.
- Utaya, S. (2009). *Dampak Hidrologi Perubahan Tata Guna Lahan Kota Malang* (1st ed.). Surya Pena Gemilang.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*.
- Waiyasuri, K., & Chotpantararat, S. (2022). *Spatial evolution of coastal tourist city using the Dyna-CLUE model in Koh Chang of Thailand during 1990–2050*. 11((1)), 49.
- Yusuf, R. M., Rachmat, B., Barkah, M. N., & Arfiansyah, K. (2021). Analisis Debit Banjir Dengan Membandingkan Nilai Debit Banjir Metode Rasional Dan Kapasitas Debit Aliran Sungai Pada Sub-DAS Ciwaringin Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat. *Geoscience Journal*, 5(4), 424–432.