

Proyeksi Kerawanan Banjir Tahun 2030 dan 2040 Berdasarkan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Jabodetabek

Flood Vulnerability Projections for 2030 and 2040 Based on Predicted Land Cover Changes in Jabodetabek Area

Angelicha Nurmara Tanjung^{1*}, Alinda Fitriany Malik Zain², Wahyu Iskandar³

¹Program Studi Magister Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University, Indonesia

²Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University, Indonesia

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Indonesia

*Email: angelichanurmara@apps.ipb.ac.id

Artikel Info

Diajukan: 30 Juli 2025

Direvisi: 21 Desember 2025

Diterima: 30 Januari 2026

Dipublikasi: 01 Oktober 2026

Keywords

CA-Markov

flood vulnerability model

land use and cover change

remote sensing

ABSTRACT

Jabodetabek is the largest metropolitan region in Indonesia and one of the most densely populated. High population drives rapid development, leading to continuous land conversion that reduces water infiltration areas and increases flood risk. The severity of flooding in the Jabodetabek region necessitates a thorough analysis of flood events. This study aims to analyze land cover changes that occurred in the years 2000, 2010, and 2020; to develop a predictive land cover model for the years 2030 and 2040; and to project flood vulnerability for 2030 and 2040. This research employs Land Use Cover Change analysis, CA-Markov modeling for prediction land cover 2030-2040, and overlay scoring of flood vulnerability parameters for 2030 and 2040. The LUCC results indicate an increase in built-up areas from 2000 to 2020, reaching 55.17%. The project land use in 2030 and 2040, showing an increase in built-up areas by 33.62% from 2020 to 2030 and 18.39% from 2030 to 2040. The flood vulnerability projection shows that areas classified as high vulnerability dominate, covering 2,425.66 km² in 2030 and increasing to 2,582.24 km² in 2040. This represents a 6.45% increase in high flood vulnerability areas over the decade.

PENDAHULUAN

Lanskap kota merupakan lanskap buatan yang menjadi bentuk dari aktivitas manusia dalam mengelola lingkungan untuk pemenuhan kebutuhan hidupnya (Simonds dan Starke 2006). Lanskap kota memiliki karakteristik perkembangan yang pesat dengan struktur heterogen yang terdiri dari berbagai fungsi dan pola yang dipengaruhi oleh faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan (Stokes dan Seto 2019). Pada beberapa kawasan kota yang berkembang menyebabkan keterikatan antar kota dan konurbasi. Konurbasi merupakan penyatuan dari beberapa kota yang saling terintegrasi dan berfungsi menjadi satu entitas ekonomi. Friedmann dan Sorensen (2019) menyebutkan konurbasi di Asia memiliki kepadatan penduduk yang tinggi, urbanisasi yang cepat, dan perubahan fisik serta demografi. Salah satu kawasan konurbasi di Indonesia yang paling besar adalah Jabodetabek yang terdiri dari DKI Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi (Jabodetabek).

Jabodetabek yang merupakan kawasan metropolitan terbesar di Indonesia dan salah satu yang terpadat. Pertumbuhan ekonomi yang pesat di wilayah ini diiringi dengan penambahan jumlah penduduk (Septiana *et al.* 2020). Jabodetabek memiliki populasi mencapai lebih dari 31,24 juta jiwa dengan kepadatan 4.898 jiwa/km² dari hasil sensus pada tahun 2020. Tingginya populasi dan kebutuhan sosial ekonomi menjadi pendorong dalam peningkatan pembangunan dan pemenuhan sarana pendukung (Sitorus *et al.* 2011; Sitorus *et al.* 2014). Terutama karena peningkatan kebutuhan dalam permintaan tempat tinggal yang menyebabkan banyak sawah dan kawasan terbuka hijau

yang mengalami konversi menjadi perumahan dan apartemen untuk memenuhi permintaan tersebut (Hermanto *et al.* 2018). Perkembangan infrastruktur menyebabkan semakin maraknya perubahan penggunaan lahan dan upaya eksploitasi sumber daya alam, hingga mengganggu keseimbangan alami ekosistem yang sebelumnya terjalin (Zain *et al.* 2006; Asmiwyati *et al.* 2026).

Penelitian Agrissantika (2007) menunjukkan sebagian besar ruang terbuka hijau (RTH) yang terdiri dari hutan, kebun campuran, sawah, semak, dan rumput mengalami perubahan secara signifikan menjadi kawasan terbangun. Pada tahun 1972 hingga 2005 tercatat RTH Jabodetabek mengalami penurunan sebesar 11%. Eksploitasi dan konversi lahan yang terus terjadi dapat mengakibatkan berkurangnya kemampuan fungsi ekologis alami lanskap terutama sebagai area resapan air. Perkerasan pada kawasan terbangun memiliki sifat kedap air dan menghambat proses infiltrasi atau meresapnya air ke dalam tanah. Hal ini menjadi penyebab terjadinya banjir yang berhubungan erat dengan ketidakmampuan air hujan meresap ke tanah (Ruspendi *et al.* 2013; Marisi *et al.* 2025). Air yang tidak teresap dengan baik kemudian menjadi air limpasan ataupun tergenang dan mengakibatkan banjir.

Kejadian banjir kerap terjadi di kawasan Jabodetabek memperlihatkan adanya degradasi fungsi ekologis dari lanskap perkotaan. Pada tahun 2021, BNPB mencatat sebanyak 1.794 kejadian banjir terjadi di Indonesia dan sebanyak 236 terjadi di Jabodetabek (Dhuha *et al.* 2024). Ginting (2020) menyatakan salah satu kejadian banjir besar di Jabodetabek terjadi pada awal tahun 2020 dan menimbulkan kerugian hingga lebih dari 10 triliun rupiah.

Krusialnya kejadian banjir yang terjadi di kawasan Jabodetabek mengakibatkan perlunya analisis lebih lanjut terkait kejadian banjir terutama yang dapat terjadi di masa depan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan yang terjadi pada periode 2000, 2010, dan 2020, membuat model prediksi tutupan lahan untuk tahun 2030 dan 2040, serta melakukan proyeksi kerawanan banjir tahun 2030 dan 2040. Hal ini untuk melihat pengaruh dari perubahan tutupan lahan yang masif terhadap terjadinya banjir di masa depan jika hal tersebut tidak dibatasi dan dikelola dengan baik.

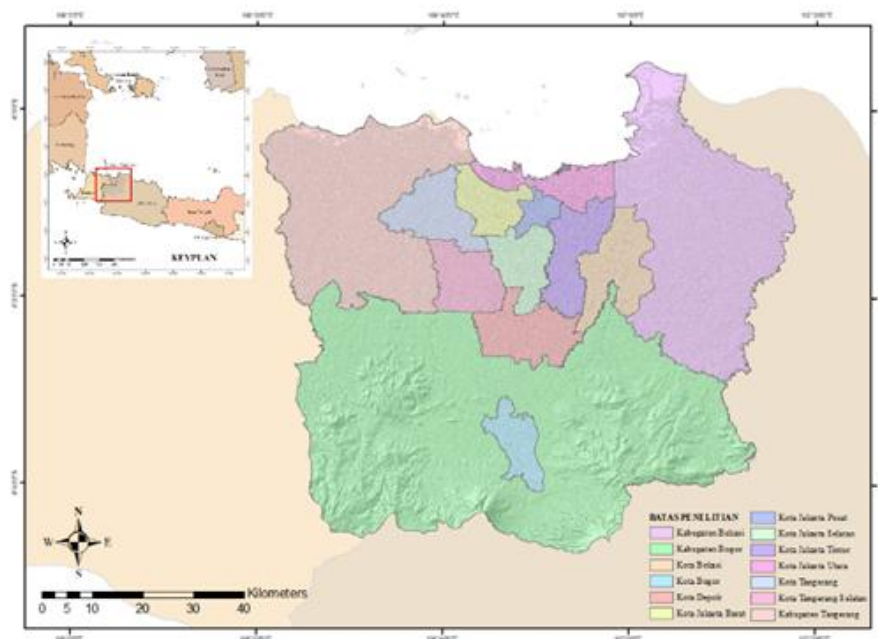
METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan metropolitan Jabodetabek (Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi) yang mencakup Provinsi Jawa Barat, Provinsi DKI Jakarta, dan Provinsi Banten. Jabodetabek memiliki luas wilayah 6.437,68 km². Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan berupa *software* analisis spasial seperti QGIS 3.40 dan TerrSet v20.02. Sementara data yang menjadi bahan tersebut berupa citra Landsat 4 TM untuk tahun 2000 dan 2010 dan Landsat 8 OLI/TIRS untuk tahun 2020 yang dapat diunduh pada *earth explorer* USGS, data DEMNAS 8x8 m BIG, data curah hujan tahunan dari BMKG,



Gambar 1. Peta lokasi penelitian Kawasan Jabodetabek



Gambar 2. Tahapan penelitian

peta rupa bumi untuk melihat *polygon* sungai BIG, dan jenis tanah pada laman *FAO Soil World*. Didukung dengan data sekunder untuk memperkuat penelitian yang diperoleh melalui penelusuran literatur yang terkait dan penelitian terdahulu yang mendukung penelitian.

Metode Analisis Data

Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa analisis spasial *remote sensing Land Use and Cover Change* (LUCC), pemodelan prediksi tutupan lahan dengan CA-Markov, serta analisis skoring dan *overlay* kerawanan banjir. Analisis LUCC dilakukan pada tiga titik tahun, yaitu 2000, 2010, dan 2020 untuk mengetahui pola perubahan tutupan lahan. Kemudian, dilakukan pemodelan prediksi tutupan lahan untuk tahun 2030 dan 2040 menggunakan CA-Markov dengan melihat pola perubahan yang terjadi pada periode tahun sebelumnya. Hasil dari pemodelan tutupan lahan kemudian dilakukan analisis skoring dan *overlay* dengan variabel parameter kerawanan banjir untuk menghasilkan peta proyeksi kerawanan banjir tahun 2030 dan 2040. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Analisis Land Use and Cover Change (LUCC)

Analisis *Land Use and Cover Change* (LUCC) atau perubahan tutupan lahan dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh (*remote sensing*) untuk membandingkan kondisi tutupan lahan pada tahun 2000, 2010, dan 2020. Data yang digunakan berasal dari Citra Landsat 4 TM dan Landsat 8 OLI/TIRS yang diunduh melalui portal USGS. Pemilihan citra dilakukan dengan melihat tutupan awan paling sedikit dan tidak menutupi lokasi penelitian, serta pengambilan citra nadir dengan dataset *landsat collection 2 level 2*. Analisis ini menggunakan tujuh band yang terdapat pada citra Landsat, yaitu Band 1 (Coastal Aerosol), Band 2 (Blue), Band 3 (Green), Band 4 (Red), Band 5 (Near-Infrared), Band 6 (SWIR) dan Band 7 (SWIR 2) (Septiantoro *et al.* 2025).

Pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi QGIS 3.40 dengan *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) dengan pendekatan klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) menggunakan metode *maximum likelihood Classification* (MLC). MLC bekerja dengan membandingkan nilai probabilitas setiap piksel termasuk ke dalam kelas tertentu dan menetapkan piksel ke kelas dengan kemungkinan tertinggi. Area dengan visual homogen dan dianggap mewakili setiap kelas tutupan lahan diambil untuk diklasifikasikan menjadi kelas yang sama dengan menggunakan penentuan area contoh (*training area*) sebagai sumber informasi dalam pengelompokan kelas tutupan lahan (Campbell dan Wynne 2011; Pradana 2021). Pada penelitian ini kelas tutupan lahan diklasifikasikan menjadi 7 kelas, diantaranya Hutan, Kebun Campuran dan Semak Belukar, Perkebunan dan Tegalan, Sawah, Pemukiman atau Kawasan terbangun, Lahan Terbuka, dan Badan Air. Kemudian hasil *supervised classification* dilakukan uji akurasi Kappa yang membandingkan hasil analisis tutupan lahan dengan tutupan lahan acuan yang bersumber dari *Google Satellite* (Septiantoro *et al.* 2025). Hasil uji akurasi Kappa dianggap valid jika >0,60 atau 60% (Landis dan Koch 1977).

Pemodelan CA-Markov Tutupan Lahan

Proses pemodelan dilakukan pada *software* TerrSet dengan menjalankan modul *Cellular automata-Markov* (CA-Markov). Modul ini diproses dengan mengkombinasikan modul *Markov Chain* yang menghasilkan *Transitional probability* dan *MOLA* (*multi-objective land allocation*) yang melakukan proses iterasi untuk mendapatkan komposisi

akhir. Metode CA-Markov bekerja dengan prinsip perubahan probabilistik yang memperhitungkan kemungkinan perubahan dari setiap jenis tutupan lahan (Xu *et al.* 2022). Dasar dari pengukuran probabilistik perubahan di masa depan dilakukan dengan mengukur serangkaian perubahan yang terjadi di masa sekarang dan masa lalu (Fitriyanto *et al.* 2019).

Prediksi perubahan tutupan lahan diproses berdasarkan tutupan lahan tahun awal, kesesuaian lahan, dan tetangganya. Selain dari melihat pola perubahan metode ini menggunakan parameter seperti transisi, probabilitas transisi, dan pengaruh faktor eksternal berupa *driving factor* yang terdiri dari jarak ke jalan dan kelerengan. Jarak ke jalan memengaruhi adanya pengembangan lahan terbangun karena kualitas akses merupakan salah satu pendorong ekonomi, sehingga sebagian besar pertumbuhan populasi dan alih fungsi lahan mengikuti pola jalan (Kubangun *et al.* 2016; Hermanto *et al.* 2018). Kelerengan merupakan hal yang sangat diperhitungkan dalam pengembangan lahan terbangun atau pemukiman (Aroengbinang *et al.* 2015; Achmadi *et al.* 2023). Kelerengan yang curam dapat mempersulit proses konstruksi dan meningkatkan risiko bencana seperti longsor, sehingga cenderung dihindari dalam perkembangan lahan terbangun.

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan modul *cellular automata Markov* dari fitur *land change modeler* (LCM) pada *software* TerrSet. Tutupan lahan tahun 2010 dijadikan sebagai *input first land cover image* dan tahun 2020 dijadikan sebagai *input second land cover image*. Perubahan tutupan lahan selama periode tahun 2010 sampai 2020 yang telah dilakukan *change analysis*, selanjutnya dilakukan *change prediction* pemodelan untuk tahun 2030. Hal yang sama kembali dilakukan untuk membuat model 2040 dengan menggunakan tahun 2020 dan model 2030 sebagai *input*. Kemudian akan dihasilkan model prediksi tutupan lahan tahun 2040.

Analisis Skoring dan Overlay dengan Parameter Kerawanan Banjir

Analisis dilakukan dengan metode skoring dan *overlay* untuk menghasilkan peta proyeksi kerawanan banjir tahun 2030 dan 2040. Penilaian potensi banjir didapatkan dari penjumlahan bobot nilai dari parameter banjir yang digunakan. Parameter yang digunakan berupa kerawanan banjir dengan penjabaran terdapat pada Tabel 1.

Model parameter kerawanan memiliki pembobotan sebagai berikut:

$$PKB = (0,15 \times CH) + (0,25 \times TL) + (0,1 \times K) + (0,1 \times JT) + (0,2 \times B) + (0,2 \times E) \dots \dots \dots (1)$$

PKB (Pembobotan Kerawanan Banjir) kemudian dihitung menggunakan persamaan untuk menentukan nilai kerawanan banjir diacu dari penelitian yang telah dilakukan oleh Purnama (2008) seperti pada persamaan berikut:

$$K = \sum_{i=1}^n (Wi \times Xi) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

K : Nilai kerawanan banjir
Wi : Bobot parameter ke-i
Xi : Skor kelas pada parameter ke-i

Hasil dari skoring, pembobotan, dan *overlay* dibagi menjadi lima kelas kerawanan banjir yang terdiri dari kelas kerawanan kelas 1 (sangat rendah) dengan interval nilai 0,65–2,28, kelas 2 (rendah) dengan interval nilai 2,29–3,91, kelas 3 (sedang) dengan interval nilai 3,92–5,54, kelas 4 (tinggi) dengan interval nilai 5,55–7,17, dan kelas 5 (sangat tinggi)

Tabel 1. Parameter kerawanan banjir

	Parameter	Skor
Curah Hujan (CH)	<1.000 mm/ tahun	1
	1.000-1.500 mm/ tahun	3
	1.501-2000 mm/ tahun	5
	2.001-2500 mm/ tahun	7
	>2.500 mm/ tahun	9
Tutupan	Hutan	1
Lahan (TL)	Kebun campuran-Semak belukar	3
	Perkebunan-Tegalan	5
	Pemukiman-Sawah	7
	Lahan terbuka-Badan air-Tambak	9
Kelerengan (K)	>40%	1
	25-40%	3
	15-25%	5
	8-15%	7
	0-8%	9
Jenis Tanah (JT)	Spodosol, Andisol	1
	Entisol, Histosol	3
	Inceptisol	5
	Alfisol, Ultisol, Molisol	7
	Vertisol, oxisol	9
Buffer Sungai (B)	>100 m	1
	75-100 m	3
	50-75 m	5
	25-50 m	7
	0-25 m	9
Elevasi (E)	>300 m	1
	101-300 m	3
	51-100 m	5
	21-50 m	7
	0-20 m	9

dengan interval nilai 7,18 – 8,80. Lebar interval kelas tersebut ditentukan dengan membagi selisih nilai maksimum dan minimum dengan jumlah interval kelas seperti persamaan berikut:

$$i = \frac{R}{n} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- i : Lebar interval
R : Selisih skor maksimum dan skor minimum
n : Jumlah kelas kerawanan banjir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Land Use and Cover Change (LUCC)

Hasil analisis LUCC yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan terjadi perubahan tutupan lahan terutama kawasan terbangun atau pemukiman yang cukup masif (Gambar 3). Gambar 3(a) menampilkan tutupan lahan tahun 2000 dengan Kappa akurasi 0,89. Gambar 3(b) merupakan peta tutupan lahan tahun 2010 dengan Kappa akurasi 0,92 dan Gambar 3(c) peta tutupan lahan tahun 2020 dengan Kappa akurasi 0,88. Tahun 2000, sawah mendominasi dengan luas 1.494 km² yang sebagian besar terletak di Kabupaten Bekasi dan Kabupaten Tangerang. Sementara kawasan pemukiman memiliki luas 1.213,44 km² (Tabel 2) yang berpusat di DKI Jakarta dan menyebar ke Bekasi dan Tangerang serta memanjang ke Kota Bogor (Gambar 3(a)). Kabupaten Bogor masih didominasi oleh hutan, perkebunan,

dan kebun campuran dengan hutan masih menjadi luas terbesar. Hal ini sejalan dengan penelitian Fakhri (2021) yang menyebutkan hutan merupakan tutupan lahan terbesar di Kabupaten Bogor dibanding kelas tutupan lahan lainnya yaitu sebesar 27,6% dari luas Kabupaten Bogor pada tahun 2000.

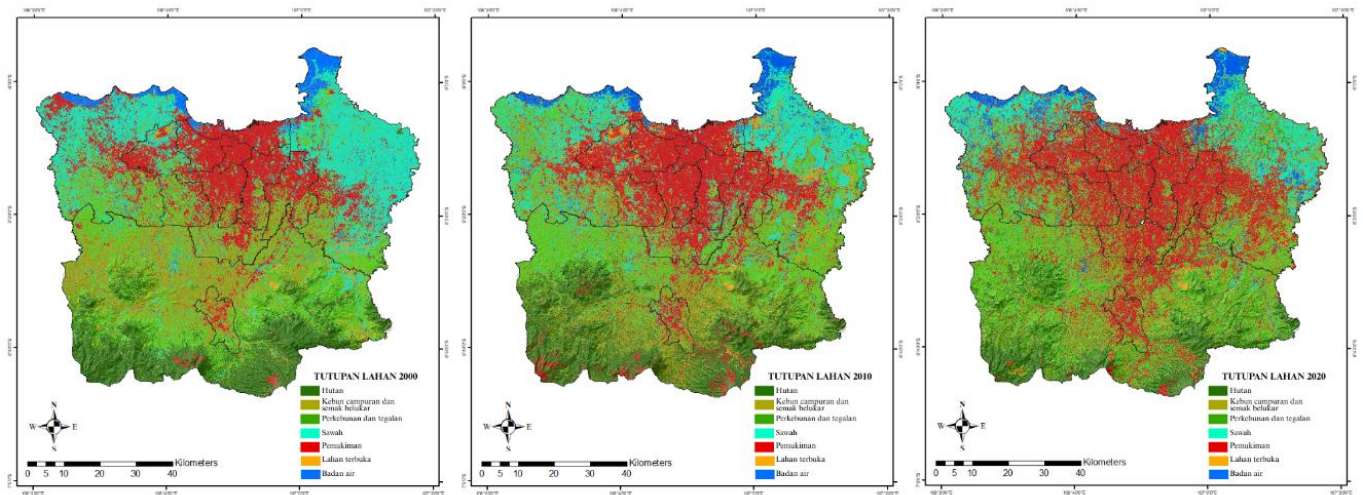
Tahun 2010 (Tabel 2), luasan hutan, perkebunan dan tegalan, serta sawah mengalami penurunan sementara kawasan pemukiman dan kebun campuran mengalami peningkatan. Konversi lahan hutan serta perkebunan dan tegalan terjadi di Kabupaten Bogor, salah satu penyebabnya karena lokasi dari perkebunan dan kebun campuran terdapat di kawasan landai serta dekat dengan pemukiman sehingga lebih mudah dijangkau dan mengalami konversi (Fakhri 2021). Peningkatan kawasan pemukiman pada tahun 2000 ke 2010 terjadi dari 1.213,44 km² (18,85%) menjadi 1.491,6 km² (23,17%) atau sebesar sebesar 22,92% (Tabel 2). Kawasan pemukiman semakin menyebar dari pusat DKI Jakarta ke arah Bogor dan Puncak (Gambar 3(b)).

Tahun 2020, kawasan pemukiman telah menyebar secara masif dan meningkat sebesar 26,23% dari tahun 2010, yaitu dari 1.491,6 km² (23,17%) menjadi 1.882,91 km² (29,25%) (Tabel 2). Hal ini karena pertumbuhan ekonomi pesat di daerah sekitar atau penyangga DKI Jakarta yang didukung oleh diterbitkannya RTRW Provinsi Jawa Barat Tahun 2009-2029 dalam Peraturan Provinsi Jawa Barat (2010) yang menetapkan Kota dan Kabupaten Bekasi, Depok, serta Kota Bogor sebagai Kawasan Strategis Nasional (KSN) untuk mendukung perkembangan DKI Jakarta. Gambar 3(c) menunjukkan tingginya pembangunan semakin menyebar ke Kabupaten Bekasi yang menjadi pusat industri dan mengkonversi lahan sawah. Kawasan pemukiman atau terbangun menyebar ke kawasan Kota dan Kabupaten Bogor terutama ke arah Puncak dan menyebabkan konversi area perkebunan dan tegalan, kebun campuran, dan bahkan area hutan. Salah satu penyebab marak pembangunan di daerah puncak karena semakin terbukanya peluang usaha dalam bidang pariwisata, sehingga banyak dibangun villa dan kawasan rekreasi. Perkembangan ini menyebabkan secara umum peningkatan kawasan pemukiman sejak tahun 2000 hingga 2020 mencapai 55,17%, yaitu dari 1.213,44 km² (18,85%) menjadi 1.882,91 km² (29,25%).

Pola perkembangan lanskap pada kawasan Jabodetabek berupa polisentris, yaitu setiap wilayah memiliki pusat ekonominya sendiri yang menyebabkan perkembangan tidak hanya berpusat di satu wilayah (Sadewo *et al.* 2018). Hal ini menyebabkan pola perkembangan yang menyebar dan berkembang secara mandiri. Namun, tentu perkembangan tertinggi terdapat di DKI Jakarta sebagai ibu kota. Tren peningkatan pemukiman yang terjadi tentunya mempengaruhi pola perubahan tutupan lahan di masa depan. Kawasan terbangun merupakan tutupan lahan yang sangat sulit terkonversi kembali, kecuali jika mengalami intervensi besar seperti restorasi lahan. Sehingga dapat diasumsikan tren yang terjadi setiap tahunnya di masa depan akan terus meningkat maupun tetap jika kondisi lahan telah jenuh dan tidak akan mengalami penurunan.

Pemodelan CA-Markov

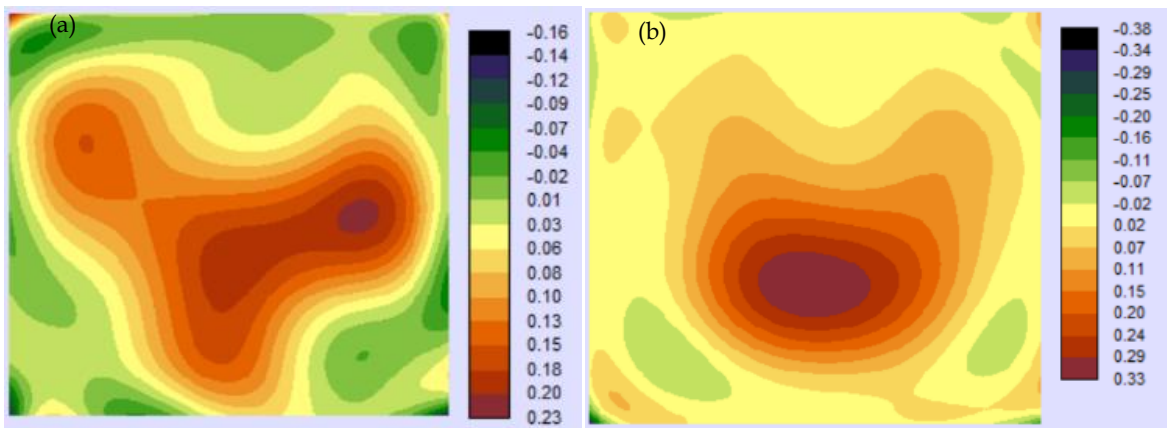
Pemodelan tutupan lahan tahun 2030 menggunakan data tutupan lahan tahun 2010, 2020, data *driving factor* berupa jarak ke jalan dan kelerengan, serta pola tren perubahan yang terjadi. Sementara pemodelan tutupan lahan tahun 2040 menggunakan data tutupan lahan tahun 2020, model 2030, data *driving factors*, dan pola tren perubahan ke pemukiman. Gambar 4 merupakan tren perubahan tutupan



Gambar 3. Peta tutupan lahan; (a) Tahun 2000, (b) Tahun 2010, (c) Tahun 2020

Tabel 2. Luas tutupan lahan tahun 2000, 2010, dan 2020

Klasifikasi Tutupan lahan	Luas Tutupan lahan					
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Hutan	1.298,23	20,17	1.133,71	17,61	930,23	14,45
Kebun campuran dan semak belukar	862,53	13,40	1.132,19	17,59	1.028,93	15,98
Perkebunan dan tegalan	1.111,13	17,26	1.090,01	16,93	1.305,08	20,27
Sawah	1.494,00	23,21	1.119,73	17,39	821,55	12,76
Pemukiman	1.213,44	18,85	1.491,60	23,17	1.882,91	29,25
Lahan terbuka	267,86	4,16	271,15	4,21	215,11	3,34
Total	6.437,68	100,00	6.437,68	100,00	6.437,68	100,00



Gambar 4. Tren perubahan tutupan lahan ke pemukiman; (a) Tahun 2010 dan 2020, (b) Tahun 2020 dan 2030

lahan Jabodetabek ke pemukiman yang terjadi pada periode 2010 -2020 dan 2020 - model 2030. Tren tersebut menunjukkan semakin tinggi interval nilai maka semakin tinggi konversi yang terjadi menjadi pemukiman atau kawasan terbangun. Jika dilihat secara spasial, konversi yang paling tinggi terjadi terdapat di Kabupaten Bekasi dan mengarah ke Kota Bogor pada tahun 2010 - 2020. Sementara, pada periode tahun 2020 - 2030 konversi paling tinggi terjadi di Kota Depok, serta Kota dan Kabupaten Bogor.

Gambar 6. (a) merupakan prediksi tutupan lahan tahun 2030 dan menunjukkan perkembangan kawasan pemukiman atau terbangun yang semakin padat menyebar di kawasan DKI Jakarta dan mengerucut ke arah Kota Bogor. Kawasan hutan terjadi sedikit penurunan dan terlihat masih terdapat di Kabupaten Bogor. Hal ini karena kelereng dimasukkan dalam peubah bebas CA-Markov sehingga kawasan dengan kelereng tinggi yang sulit terjadi pembangunan dapat dihindari. Selain itu, hanya sedikit perubahan di kawasan tersebut sejak tahun 2010, sehingga model membaca sedikit adanya perubahan pada kawasan hutan.

Model menunjukkan prediksi pemukiman tahun 2030 meningkat sebesar 33,62% menjadi 2.516,00 km² dari sebelumnya 1.882,91 km² pada tahun 2020 (Gambar 6). Kebun campuran dan semak serta sawah merupakan yang paling banyak terkonversi karena lokasi yang strategis, berdampingan dengan pemukiman, dan kepemilikan pribadi. Sehingga paling mudah untuk dikembangkan menjadi pemukiman baru. Selain itu, adanya peubah bebas jarak ke jalan yang merupakan faktor pendorong perubahan karena mendukung kemudahan aksesibilitas dalam perkembangan wilayah.

Gambar 6. (b) menggambarkan prediksi tutupan lahan tahun 2040. Terdapat kawasan pemukiman yang semakin menyebar mengikuti jalan terutama di Kabupaten Bogor. Sesuai dengan penelitian Kubangun *et al.* (2016) yang menyatakan semakin dekat suatu daerah dengan jalan dan pusat kota maka semakin banyak juga terjadi perubahan tutupan lahan. Model menunjukkan prediksi pemukiman tahun 2040 meningkat sebesar 18,39% menjadi 2.978,67 km² dari sebelumnya 2.516,00 km² pada tahun 2030 (Gambar 6). Jika

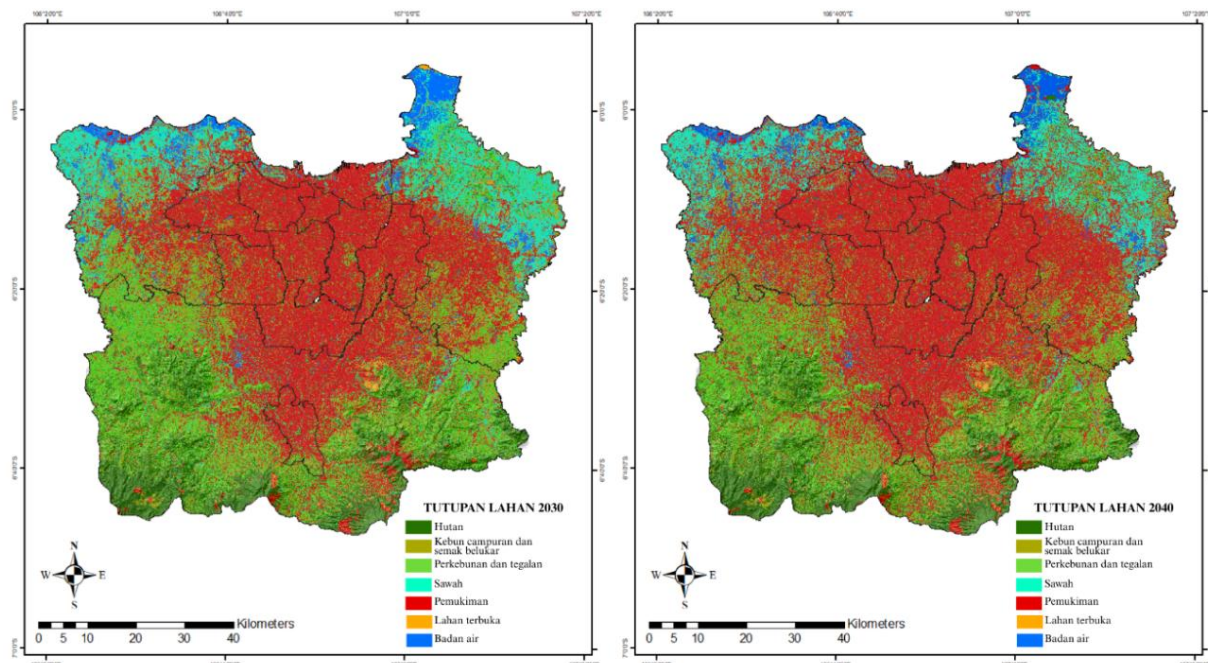
diasumsikan tidak terjadi perubahan signifikan maupun pembangunan tidak terduga. Perkembangan ekonomi dan pembangunan yang pesat berpusat terutama di DKI Jakarta menyebabkan kepadatan penduduk dan kebutuhan lahan semakin meningkat dan berdampak pada perubahan tutupan lahan di wilayah yang berbatasan langsung dengan DKI Jakarta (Al Karim *et al.* 2019). Khususnya di kawasan penyangga seperti Kota dan Kabupaten Bekasi, Kota dan Kabupaten Tangerang, serta Kota Depok hingga Bogor.

Kedua model menunjukkan tutupan lahan pemukiman atau terbangun berkembang secara masif dan semakin mengekspansi kawasan terbuka hijau. Hal ini tentunya berpengaruh terhadap fungsi ekologis lanskap yang didukung oleh kawasan terbuka hijau terutama dalam pengendalian banjir. Hilangnya ruang terbuka hijau mengurangi kemampuan alami lanskap dalam menyerap dan menahan air hujan karena sebagian besar ruang tersebut telah tergantikan oleh infrastruktur bersifat kedap air yang mengakibatkan proses infiltrasi dan retensi air menurun, sementara volume limpasan permukaan (*surface runoff*) meningkat dan memperbesar risiko genangan dan banjir terutama di wilayah dataran rendah.

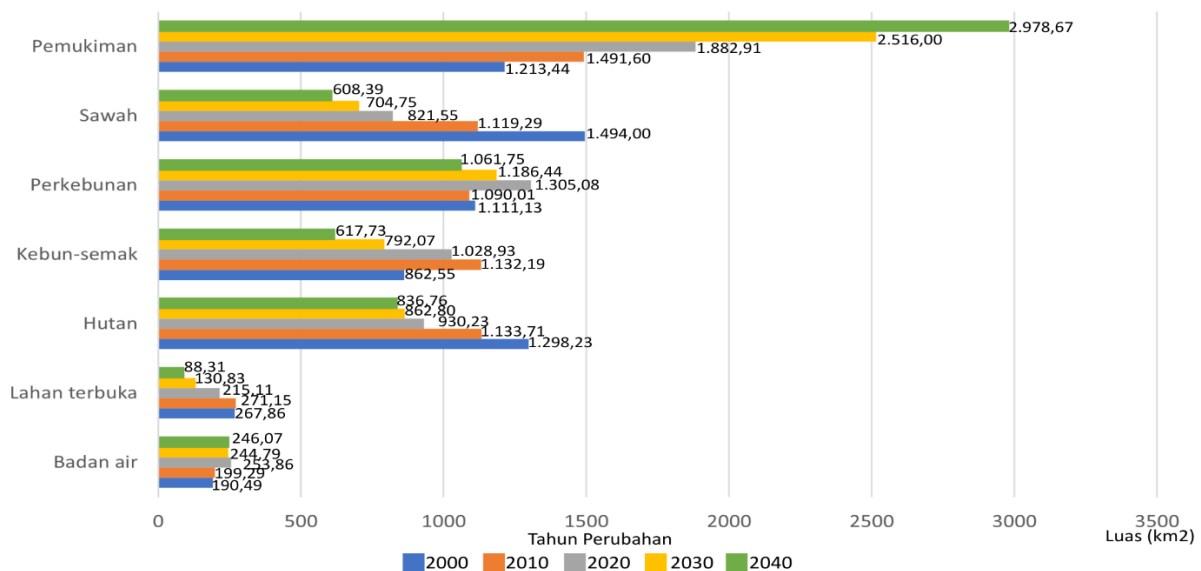
Proyeksi Kerawanan Banjir 2030 dan 2040

Proyeksi kerawanan banjir tahun 2030 dan 2040 menggunakan parameter pada Tabel 1 dengan tutupan lahan tahun 2030 dan 2040, sementara untuk variabel lainnya yang terdiri dari curah hujan, jenis tanah, kelerengan, elevasi, dan *buffer* sungai menggunakan data tahun 2020. Peta hasil skoring variabel kerawanan banjir ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

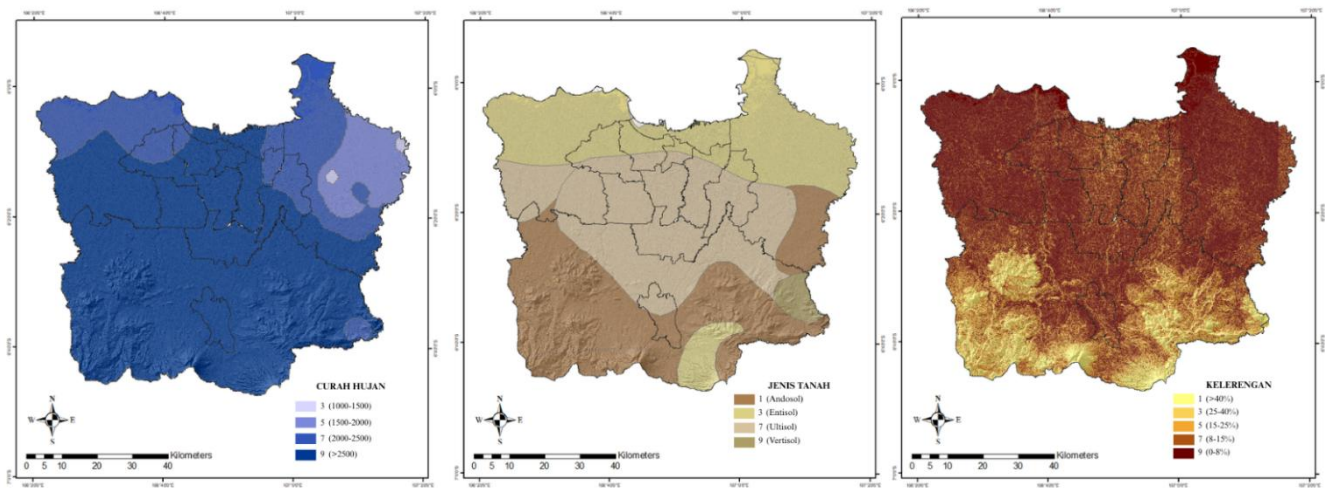
Curah hujan menjadi salah satu parameter penting karena tingginya volume air hujan dapat berpengaruh langsung terhadap terjadinya limpasan permukaan. Semakin tinggi curah hujan yang terjadi akan meningkatkan kerawanan dan risiko terjadinya banjir. Kawasan Jabodetabek didominasi curah hujan sangat tinggi sebesar >2.500 mm/tahun (Gambar 7(a)) dan mengakibatkan skor pada parameter ini dominan sangat tinggi. Sementara jenis tanah menjadi parameter kerawanan banjir karena akan berpengaruh terhadap proses infiltrasi. Kawasan Jabodetabek didominasi tanah ultisol yang bersifat lempung dan infiltrasinya tidak terlalu cepat (Gambar 7(b)). Faktor kelerengan menjadi salah satu yang dipertimbangkan dalam kerawanan banjir karena



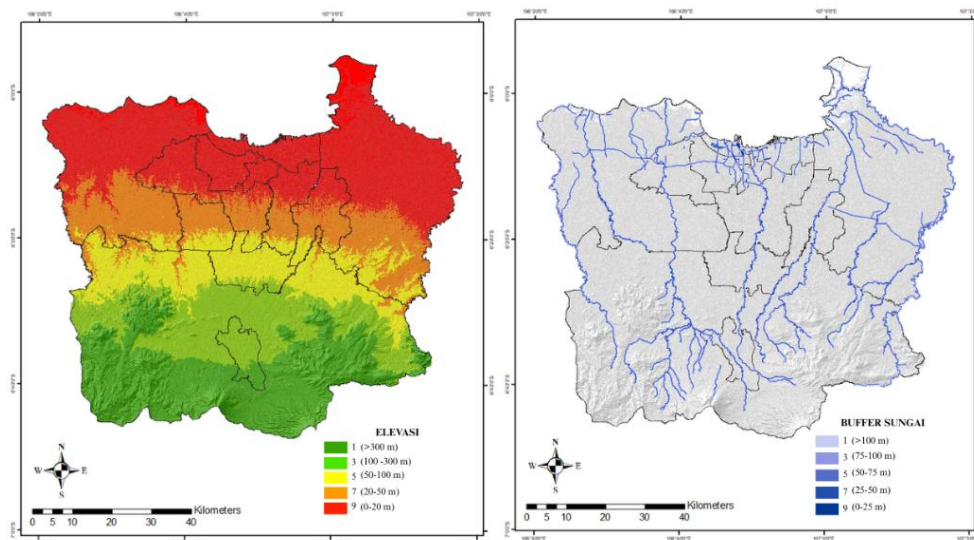
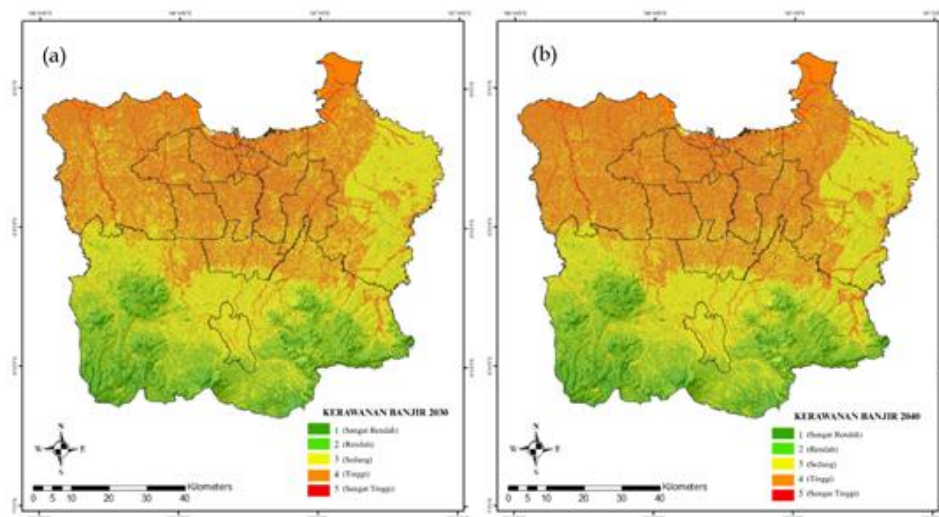
Gambar 5. Prediksi tutupan lahan; (a) Tahun 2030, (b) Tahun 2040



Gambar 6. Grafik prediksi tutupan lahan tahun 2000 – 2040



Gambar 7. Hasil skoring parameter kerawanan banjir; (a) Curah hujan, (b) Jenis tanah, (c) Kelerengan

Gambar 8. Hasil skoring parameter kerawanan banjir; (a) Elevasi dan (b) *Buffer* sungai

Gambar 9. Proyeksi kerawanan banjir; (a) Tahun 2030, (b) Tahun 2040

area dengan kelerengan rendah memiliki potensi kerawanan lebih tinggi dengan air limpasan dapat terakumulasi di area tersebut (Handiani dan Purnomo 2024). Hal tersebut juga berlaku untuk elevasi, kawasan dengan elevasi lebih rendah memiliki potensi kerawanan banjir lebih tinggi karena limpasan dari kawasan dengan elevasi yang lebih tinggi. Kawasan Jabodetabek memiliki kelerengan yang relatif datar (Gambar 7(c)) dengan elevasi cenderung rendah pada kawasan utara

(Gambar 8(a)). *Buffer* sungai merupakan kawasan yang paling dekat dengan sungai hingga jarak 300 m dari tepi sungai. Kawasan ini merupakan area yang akan terkena banjir paling awal jika terjadi luapan sungai. Luapan sungai merupakan salah satu sumber banjir yang paling sering terjadi di Jabodetabek, sehingga area yang berada dekat dengan sungai menjadi pertimbangan dalam perhitungan kerawanan banjir (Gambar 8(b))

Tutupan lahan yang menjadi peubah dalam proyeksi kerawanan banjir dengan menggunakan prediksi tahun 2030 dan 2040 yang bertujuan untuk melihat jika konversi lahan yang masif dapat berpengaruh terhadap peningkatan area rawan banjir. Hal ini juga didukung dengan pembobotan pada parameter yang menunjukkan tutupan lahan memiliki bobot tertinggi. Sehingga, tutupan lahan dinilai memiliki pengaruh terhadap terjadinya banjir.

Hasil analisis *overlay* kemudian dibagi kedalam kelas 1 (sangat rendah), kelas 2 (rendah), kelas 3 (sedang), kelas 4 (tinggi), dan kelas 5 (sangat tinggi). Gambar 9(a) merupakan peta kerawanan banjir tahun 2030 yang menunjukkan kelas kerawanan tinggi telah mendominasi dengan luas 2.425,66 km² (Tabel 3). Wilayah dengan kerawanan tinggi tersebut sebagian besar berlokasi di area utara Jabodetabek sebagai pusat aktivitas dengan banyaknya kawasan terbangun, serta memiliki elevasi rendah dan merupakan hilir sungai. Elevasi rendah meningkatkan kerawanan banjir karena wilayah yang lebih rendah cenderung menjadi tempat akumulasi air saat hujan deras atau limpasan sungai, sehingga air sulit mengalir keluar secara alami. Wilayah dengan kelas 5 (sangat tinggi) terletak di area *buffer* sungai terutama pada tutupan lahan pemukiman atau kawasan terbangun. Hal ini karena area tersebut sangat rawan terhadap meluapnya air sungai dan ditambah dengan tidak adanya resapan air karena sekitarnya telah menjadi kawasan terbangun (Medupin *et al.* 2020).

Tabel 3. Luas kelas kerawanan banjir tahun 2030 dan 2040

Kelas Kerawanan	Luas Kerawanan			
	2030		2040	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
1 (Sangat rendah)	352,96	5,48	351,28	5,46
2 (Rendah)	1.168,10	18,14	1.146,95	17,82
3 (Sedang)	2.411,45	37,46	2.273,93	35,32
4 (Tinggi)	2.425,66	37,68	2.582,24	40,11
5 (Sangat tinggi)	79,51	1,24	83,28	1,29
Total	6.437,68	100,00	6.437,68	100,00

Gambar 9(b) merupakan proyeksi kerawanan banjir tahun 2040, secara spasial lokasi dengan kerawanan tinggi tidak berbeda signifikan dibandingkan tahun 2030. Namun, luasnya bertambah dari konversi kerawanan sedang dan rendah yang berubah menjadi tinggi dengan luas kelas kerawanan tinggi sebesar 2.582,24 km² (Tabel 3). Perubahan ini terjadi di Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang Selatan, dan sebagian Kabupaten Bekasi. Hal ini seiring dengan prediksi pemukiman atau kawasan terbangun semakin padat di kawasan tersebut. Sementara, pengembangan kawasan terbangun di jalur Puncak dan dataran tinggi Kabupaten Bogor masih tergolong kerawanan sedang. Meskipun terjadi konversi menjadi kawasan pemukiman, kerawanan banjir tidak setinggi di kawasan lain karena dipengaruhi topografi. Namun, kawasan Puncak yang merupakan area hulu berperan besar dalam memengaruhi banjir di area hilir. Sehingga, konversi lahan di kawasan ini tetap menjadi perhatian penting meskipun tingkat kerawanan banjir lokalnya tergolong sedang. Topografi yang curam dan elevasi tinggi memang menyebabkan air cepat mengalir ke bawah, namun ketika tutupan lahan alami seperti hutan dikonversi menjadi permukiman atau area wisata, kapasitas tanah untuk menyerap air menurun drastis. Hal ini meningkatkan volume limpasan permukaan yang kemudian mengalir menuju daerah hilir seperti Jakarta dan sekitarnya.

Kelas kerawanan banjir tinggi mengalami peningkatan sebesar 6,45% dengan luas sebesar 2.425,66 km² pada tahun 2030 menjadi 2.582,24 km² pada tahun 2040 (Tabel 3). Sementara untuk kelas kerawanan sangat tinggi meningkat dari 79,51 km²

menjadi 83,28 km² atau sebesar 4,74%. Hal ini karena tutupan lahan di kawasan sekitar sungai berkembang menjadi pemukiman atau kawasan terbangun dengan semakin masif pada tahun 2040. Sedangkan kelas kerawanan sangat rendah, rendah, dan sedang mengalami penurunan luasan karena terkonversi menjadi kelas kerawanan tinggi maupun sangat tinggi.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil analisis *land use cover change* (LUCC) menghasilkan tren pemukiman atau kawasan terbangun terus meningkat dengan persentase peningkatan mencapai 55,17% pada tahun 2000 hingga 2020. Sementara sawah mengalami penurunan 45,02% dan hutan mengalami penurunan sebesar 28,34%. Model prediksi CA-Markov menghasilkan tren kawasan terbangun yang terus meningkat, kawasan pemukiman tahun 2030 meningkat sebesar 33,62% dari tahun 2020 dan tahun 2040 meningkat sebesar 18,39% dari tahun 2030. Sementara, hasil proyeksi kerawanan banjir dengan menggunakan prediksi tutupan lahan tahun 2030 dan 2040 didominasi kelas kerawanan tinggi sebesar 2.425,66 km² dan 2.582,24 km² atau peningkatan sebesar 6,45% dari tahun 2030-2040.

Saran

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan untuk dilengkapi. Penelitian selanjutnya disarankan dapat menggunakan lebih banyak *driving factors* untuk menghasilkan model prediksi tutupan lahan yang lebih akurat dan mempertimbangkan adanya peraturan pemerintah seperti RTRW dan RDTR dalam pembuatan model prediksi.

DAFTAR PUSTAKA

Achmadi PN, Dimiyati M, Manesa MDM, Rakuasa H. 2023. Model Perubahan Tutupan Lahan Berbasis CA-Markov: Studi kasus Kecamatan Ternate Utara, Kota Ternate. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 10(2): 451–460. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.28>

Agrissantika T. 2007. Model Dinamika Spasial Ruang Terbangun dan Ruang Terbuka Hijau (Studi kasus Kawasan Jabodetabek) [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Al Karim M, Jati Utomo G, Fauziah B. 2019. Quality of Life and Economic Growth, Case Study of DKI Jakarta and Sub Urban Area. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota* 15(3): 227–247. <https://doi.org/10.14710/pwk.v15i3.22287>

Aroengbinang B, Kaswanto RL. 2015. Driving Force Analysis of Landuse and Cover Changes in Cimandiri and Cibuni Watersheds. *Procedia Environmental Sciences* 24: 184–188. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.024>

Asmiwyati IGAAR, Sukewijaya IM, Kaswanto RL, Utami NWF, Krisnandika AAK, Saputra KE, Pranditha IDGAS, Megisterina. 2026. Biodiversity and Carbon Stock Estimation to Mitigate Climate Change in Tukad Yeh Kajang riparianscape of Marga Village, Tabanan, Bali. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1608(1): 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1608/1/012055>

Campbell B, Wynne RH. 2011. Introduction to Remote Sensing. Guilford Press.

Dhuha MAS, Saputra AH, Kristianto A, Mulya A. 2024. Impact-Based Forecasting (IBF) untuk Mendukung Manajemen Risiko Banjir di Kawasan Jabodetabek. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 22(5): 1159–1173.

Fakhri MA. 2021. Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan

- Menggunakan Metode Markov Chain di Kabupaten Bogor [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fitriyanto BR, Helmi M, - H. 2019. Model Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis dan Cellular Automata Markov Chain: Studi Kasus Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. *Jurnal Teknologi Technoscintia* 11(2): 137-147. <https://doi.org/10.34151/technoscintia.v11i2.923>
- Friedmann J, Sorensen A. 2019. City Unbound: Emerging Mega-Conurbations in Asia. *International Planning Studies* 24(1): 1-12. <https://doi.org/10.1080/13563475.2019.1555314>
- Ginting AM. 2020. Dampak Ekonomi dan Kebijakan Mitigasi Risiko Banjir di DKI Jakarta dan Sekitarnya Tahun 2020. Volume XII. https://berkas.dpr.go.id/puslit/files/info_singkat/Inf
- Handiani D, Purnomo D. 2024. Evaluation of Floods Susceptibility Models Based on Different Pairwise Parameters in the Analytical Hierarchy Process: Case Study Cilemer and Ciliman Watersheds. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 14(4): 684-695. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.4.684>
- Hermanto SSA, Makalew ADN, Sulistyantara B. 2018. Hubungan Antara Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Total Penduduk yang Dipengaruhi oleh Fenomena Urbanisasi di Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Lanskap Indonesia* 10(1): 7-11. <https://doi.org/10.29244/jli.v10i1.17397>
- Kubangun SH, Haridjaja O, Gandasasmita K. 2016. Model Perubahan Penutupan/Penggunaan Lahan untuk Identifikasi Lahan Kritis di Kabupaten Bogor, Kabupaten Cianjur, dan Kabupaten Sukabumi. *Majalah Ilmiah Globe* 18(1): 21-32. <https://doi.org/10.24895/mig.2016.18-1.391>
- Kusumo P, Nursari E. 2016. Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis pada DAS Cidurian Kab. Serang, Banten. *STRING* 1(1): 29-38. <https://doi.org/10.30998/string.v1i1.966>
- Landis JR, Koch GG. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33(1): 159-174. <https://www.jstor.org/stable/2529310>
- Marisi DP, Suprihatin S, Hariyadi S, Kaswanto RL. 2025. The Impacts of Land Use and Cover Change on Water Quality of Watershed Basin. *Global Journal of Environmental Science and Management* 11(2): 573-592. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2025.02.12>
- Medupin C, Bark R, Owusu K. 2020. Land Cover and Water Quality Patterns in an Urban River: A Case Study of River Medlock, Greater Manchester, UK. *Water (Switzerland)* 12(3): 1-21. <https://doi.org/10.3390/w12030848>
- [Pemprov] Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 22 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Barat Tahun 2009-2029.
- Pradana DA. 2021. Perubahan Tutupan Lahan pada Tahun 2015 dan 2020 di Kecamatan Leuwiliang Kabupaten Bogor Berdasarkan Citra Landsat 8 [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [PUSLITTANAK] Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2004. Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi.
- Ruspendi D, Hadi S, Rusdiana O. 2013. Kajian Perubahan Penutupan Lahan pada DAS Ciliwung Hulu dengan Pendekatan Spasial Dinamik. *Jurnal Lanskap Indonesia* 5(2): 1-5. <https://doi.org/10.29244/jli.2013.5.2.1-5>
- Sadewo E, Syabri I, Pradono. 2018. Beyond the Early Stage of Post-suburbanization: Evidence from Urban Spatial Transformation in Jabodetabek Metropolitan Area. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (158) 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/158/1/012040>
- Septiantoro R, Zain AFM, Pribadi DO. 2025. Analisis Nilai Kehijauan Berdasarkan Pengukuran Komputasi dan Persepsi Manusia pada Ruang Terbuka Hijau di Pekanbaru, Riau. *Jurnal Lanskap Indonesia* 17(1): 90-101. <https://doi.org/10.29244/jli.v17i1.57392>
- Septriana FE, Alnavis NB, Gustia R, Wirawan RR, Putri NP, Hasibuan HS, Tambunan RP. 2020. The Impact of Land Cover Changes on the Hydrological System in Jakarta. *Globe Scientific Magazine* 22(1): 51-57. <https://doi.org/10.24895/MIG.2020.22-1.1150>
- Simonds JO, Starke B. 2006. *Landscape Architecture, Fourth Edition : A Manual of Land Planning and Design: A Manual of Land Planning and Design* Mcgraw-hill. https://books.google.co.id/books?id=zHJRAAAAMA_AJ
- Sitorus SRP, Aurelia W, Panuju DR. 2011. Analisis Perubahan Luas Ruang Terbuka Hijau dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya di Jakarta Selatan. *Jurnal Lanskap Indonesia* 3(1): 15-20. <https://doi.org/10.29244/jli.2011.3.1.%25p>
- Sitorus SRP, Patria SID, Panuju DR. 2014. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Ruang Terbuka Hijau di Jakarta Timur. *Jurnal Lanskap Indonesia* 4(2): 28-36. <https://doi.org/10.29244/jli.2012.4.2.%25p>
- Stokes EC, Seto KC. 2019. Characterizing and Measuring Urban Landscapes for Sustainability. *IOP Conference Series: Environmental Research Letters* 14 (4): 045002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafab8>
- Xu T, Zhou D, Li Y. 2022. Integrating ANNs and Cellular Automata-Markov Chain to Simulate Urban Expansion with Annual Land Use Data. *Land* 11(7): 1-15. <https://doi.org/10.3390/land11071074>
- Zain AM, Mukaryanti, Shiddig D. 2006. Evaluasi Kemampuan Alami Wilayah Dalam Konservasi Air dan Pengendalian Banjir. *Jurnal Teknik Lingkungan P3TL-BPPT* 7(1): 26-34. <https://doi.org/10.29122/jtl.v7i1.363>