Jurnal Geosains West Science
Vol. 4, No. 03, Oktober 2026, pp. 658~676

Pemodelan Potensi Bencana Banjir Berdasarkan Perubahan Penggunaan Lahan dan *Land Subsidence* di DAS Air Dingin Kota Padang

Valefy Siregar[1], Dipo Caesario[2]
[1,2] Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Oct, 2026
Revised Oct, 2026
Accepted Oct, 2026

Kata Kunci:

Perubahan Penggunaan Lahan, Land Subsidence, DInSAR, Cellular Automata, Potensi Banjir

Keywords:

Land-Use Change, Land Subsidence, DInSAR, Cellular Automata, Flood Potential

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya banjir pada tahun 2037 di Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin yang terletak di Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang, dengan menganalisis perubahan penggunaan lahan yang diperkirakan serta dampak penurunan permukaan tanah. Analisis deformasi menggunakan metode yang dikenal sebagai *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR). Laju penurunan tanah yang dihitung disesuaikan dan digunakan sebagai salah satu faktor penting yang diperlukan untuk memperkirakan perubahan penggunaan lahan melalui model *Cellular Automata* yang diimplementasikan menggunakan *plugin Molusce*. Perkiraan penggunaan lahan yang dihasilkan kemudian digabungkan dengan variabel-variabel seperti curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan *buffer* sungai, melalui metode skor dan pembobotan untuk mensimulasikan potensi banjir pada tahun 2037. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju penurunan permukaan tanah berkisar antara -6,18 hingga 0,38 sentimeter per tahun, dan setelah dinormalisasi, nilainya berada dalam rentang 0,0001 hingga 0,9999. Model prediksi perubahan penggunaan lahan mencapai tingkat akurasi *Percentage of Correctness* sebesar 89,68%, dengan nilai *Kappa Overall* sebesar 0,46469 dan *Kappa Location* sebesar 0,65072. Potensi banjir yang diprediksi untuk tahun 2037 sebagian besar dikategorikan sebagai sangat rendah, mencakup luas 10.288,23 hektar, setara dengan 80,38%, sedangkan kelas yang dikategorikan tinggi hingga sangat tinggi mencakup luas 333,22 hektar. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa memperhitungkan penurunan permukaan tanah sebagai variabel kontributor meningkatkan pemahaman terhadap transformasi penggunaan lahan, yang selanjutnya dimanfaatkan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya banjir pada tahun 2037 di Daerah Aliran Sungai Air Dingin.

ABSTRACT

This study aims to estimate the likelihood of flooding in 2037 in the Air Dingin River Basin, located in Koto Tangah District, Padang City, by analyzing projected land-use changes and the impacts of land subsidence. Deformation analysis was conducted using a method known as Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). The calculated rate of land subsidence was adjusted and used as one of the key factors required to estimate land-use changes through a Cellular Automata model implemented using the Molusce plugin. The resulting land-use projections were then combined with variables such as rainfall, slope, soil type, and river buffers, using a scoring and weighting method to simulate potential flooding in 2037.

The results of the study show that the rate of land subsidence ranges from -6.18 to 0.38 centimeters per year, and after normalization, the values fall within the range of 0.0001 to 0.9999. The land-use change prediction model achieved an accuracy of 89.68% (Percentage of Correctness), with an Overall Kappa value of 0.46469 and a Location Kappa value of 0.65072. The predicted flood risk for 2037 is largely categorized as very low, covering an area of 10,288.23 hectares, equivalent to 80.38%, while the categories classified as high to very high cover an area of 333.22 hectares. The modeling results indicate that incorporating land subsidence as a contributing variable enhances our understanding of land-use changes, which can then be used to predict the likelihood of flooding in 2037 in the Air Dingin River Basin.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Name: Valefy Siregar
Institution: Program Studi Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Padang 25131, Sumatera
Email: valefysiregar@student.unp.ac.id

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu jenis bencana hidrometeorologi yang dapat mengganggu aktivitas masyarakat dan berdampak pada lingkungan ekologi. Terjadinya banjir tidak hanya terkait dengan volume curah hujan, tetapi juga dipengaruhi oleh ciri-ciri fisik wilayah dan kondisi tanah, yang menentukan bagaimana daerah aliran sungai merespons curah hujan yang masuk. (Kasnar *et al*., 2019). Perubahan penggunaan lahan menunjukkan peran penting dalam mengevaluasi potensi banjir. Perluasan kawasan perkotaan, pembangunan fasilitas baru, dan meningkatnya aktivitas ekonomi dapat mengubah kondisi tutupan lahan (Asrul *et al*., 2025). Peningkatan debit air ini dapat menambah tekanan terhadap kemampuan sungai dalam menampung air, terutama saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi (Triyatno *et al*., 2023). Kondisi ini menjadikan perubahan penggunaan lahan sebagai salah satu aspek yang perlu dipertimbangkan dalam memahami dinamika potensi banjir pada suatu daerah aliran sungai.

Pertumbuhan perkotaan dapat mempercepat perubahan dalam pemanfaatan lahan dengan meningkatkan kebutuhan akan kawasan yang diperuntukkan bagi perumahan dan berbagai kegiatan pembangunan lainnya. Perluasan kawasan yang telah dibangun tanpa pengawasan pemanfaatan lahan yang efektif dapat mengurangi luas lahan yang berfungsi sebagai zona penyerapan air. Seiring dengan semakin tidak permeabelnya permukaan tanah, jumlah curah hujan yang berubah menjadi limpasan pun meningkat, sehingga meningkatkan potensi banjir dan meluapnya sungai (Mappatarai *et al*., 2024). Perubahan lingkungan permukaan di dalam kota dapat terjadi bersamaan dengan fluktuasi ketinggian tanah. Penurunan permukaan tanah mengacu pada fenomena turunnya permukaan bumi, yang mungkin terkait dengan faktor geologis atau aktivitas yang dilakukan oleh manusia (Iskandar *et al*., 2020). Perbedaan ketinggian ini perlu diperhatikan dalam penelitian banjir karena dapat memengaruhi keselarasan permukaan tanah dengan sistem drainase serta pergerakan air. Di wilayah yang secara umum berada pada ketinggian lebih rendah, penurunan permukaan tanah di titik-titik tertentu dapat meningkatkan risiko banjir, terutama

selama periode curah hujan yang tinggi (Istiqomah *et al*., 2020). Fenomena penurunan permukaan tanah telah teridentifikasi dalam penelitian yang dilakukan di Kota Padang (Sukmawati *et al*., 2021).

Kondisi ini perlu mendapat perhatian di Kota Padang, sebuah kota yang ditandai dengan wilayah datar dan sistem daerah aliran sungai yang berperan dalam pengelolaan drainase air permukaan (Mulia & Handayani, 2024). Kecamatan Koto Tangah termasuk di antara wilayah-wilayah yang sedang mengalami perluasan permukiman dan perubahan tata guna lahan seiring dengan perkembangan kawasan perkotaan (Sudrajat *et al*., 2025). Di wilayah tersebut terdapat Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin, yang terkenal karena kejadian banjirnya serta perannya yang penting dalam sistem pengelolaan air di Kecamatan Koto Tangah (Awalina & Naspendra, 2024). Pertumbuhan kawasan yang telah dibangun di Daerah Aliran Sungai Air Dingin cukup signifikan, karena perubahan tata guna lahan dapat memengaruhi kondisi limpasan air. Selain itu, penurunan permukaan tanah turut berperan dalam perubahan fisik yang terjadi di kawasan tersebut, yang perlu dipertimbangkan dalam penilaian potensi banjir (Caesario *et al*., 2025). Hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan variasi ketinggian permukaan sangat penting untuk memprediksi kemungkinan terjadinya banjir di masa depan (Ridwan & Sarjito, 2024).

Perubahan penggunaan lahan dan perubahan kondisi permukaan tanah saling berkaitan erat, sehingga keduanya menjadi landasan penting untuk mengidentifikasi kemungkinan pergeseran potensi banjir di masa mendatang. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengulas keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan dengan limpasan permukaan dan kejadian banjir, sementara penelitian lain lebih berfokus pada land subsidence serta pengaruhnya terhadap perubahan kerentanan suatu wilayah terhadap banjir. Meskipun demikian, kajian yang mengintegrasikan kedua aspek tersebut ke dalam satu rangkaian pemodelan spasial masih relatif jarang dilakukan, terutama pada lingkup DAS Air Dingin. Selain itu, gambaran penggunaan lahan pada satu titik waktu tertentu belum cukup untuk memproyeksikan arah perubahan wilayah di masa depan. Kondisi ini menegaskan perlunya pendekatan prediktif yang mampu menggambarkan dinamika penggunaan lahan sekaligus memperhitungkan land subsidence sebagai salah satu faktor pendorong perubahan tersebut. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan potensi bencana banjir pada tahun 2037 dengan mendasarkan pada prediksi perubahan penggunaan lahan dan land subsidence di DAS Air Dingin, Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang. Hasil pemodelan tersebut selanjutnya dimanfaatkan untuk membandingkan sebaran spasial potensi banjir antara kondisi eksisting tahun 2025 dan proyeksi tahun 2037, sehingga dapat menjadi informasi pendukung dalam pengelolaan DAS, perencanaan tata ruang, serta upaya mitigasi banjir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir merupakan sebuah fenomena hidrologi berupa meluapnya air permukaan akibat kapasitas saluran drainase atau sungai yang terlampau, sehingga menyebabkan genangan atau aliran di luar batas normal pada wilayah sekitarnya (Edial *et al*., 2020). Fenomena ini dipengaruhi oleh beberapa unsur yang saling berkaitan satu sama lain. Intensitas curah hujan yang tinggi dalam kurun waktu tertentu dapat meningkatkan debit air yang masuk ke sistem sungai, sehingga berpotensi melampaui kapasitas tampung aliran sungai tersebut. Selain itu, karakteristik topografi, sifat tanah, dan jenis tutupan vegetasi turut menentukan bagaimana suatu wilayah merespons curah hujan

yang terjadi. Daya serap tanah terhadap air, yang juga dipengaruhi oleh kondisi permukaannya, pada akhirnya menentukan besarnya proporsi air yang berubah menjadi limpasan permukaan (Balahanti *et al*., 2023).

2.2 Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence)

Penurunan tanah adalah proses di mana permukaan bumi secara bertahap turun ke bawah selama periode waktu tertentu (Julzarika, 2023). Perubahan ini merupakan salah satu jenis perubahan permukaan bumi yang terjadi dengan kecepatan yang bervariasi tergantung pada wilayahnya. Terjadinya penurunan permukaan tanah dapat dipengaruhi baik oleh karakteristik geologis wilayah tersebut maupun oleh aktivitas yang terjadi di permukaan. Dalam penelitian ini, data tersebut tidak hanya digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah, tetapi juga berperan sebagai unsur penting *(driving factor)* dalam memprediksi perubahan penggunaan lahan melalui model CA-Markov. (Zawawi *et al*., 2023). Dengan mempertimbangkan fenomena penurunan permukaan tanah sebagai faktor yang memengaruhi, variasi ketinggian permukaan tanah dapat dimasukkan dalam analisis tren perubahan peenggunaan lahan.

2.3 Perubahan Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan mengacu pada lokasi suatu kawasan untuk berbagai tujuan, di mana penggunaan tersebut berpotensi berubah seiring dengan perkembangan aktivitas manusia. Perubahan tersebut terjadi ketika fungsi suatu bidang tanah beralih dari kondisi semula ke bentuk penggunaan lahan yang berbeda (Umar *et al*., 2018). Dinamika ini dapat dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, perluasan kawasan pemukiman, pembangunan infrastruktur, serta permintaan ruang untuk mendukung berbagai kegiatan. Perubahan penggunaan lahan dapat memengaruhi kondisi lingkungan jika dilakukan tanpa mempertimbangkan daya dukung dan karakteristik khusus wilayah tersebut. Mengubah lahan yang ditutupi vegetasi menjadi kawasan yang digunakan secara lebih intensif dapat mengubah kondisi permukaan dan mengganggu keseimbangan lingkungan. Dampak yang ditimbulkannya dapat mencakup peningkatan limpasan permukaan, perubahan kondisi hidrologis, serta meningkatnya tantangan lingkungan seperti banjir dan erosi (Hariati *et al*., 2024).

2.4 Cellular Automata (CA)

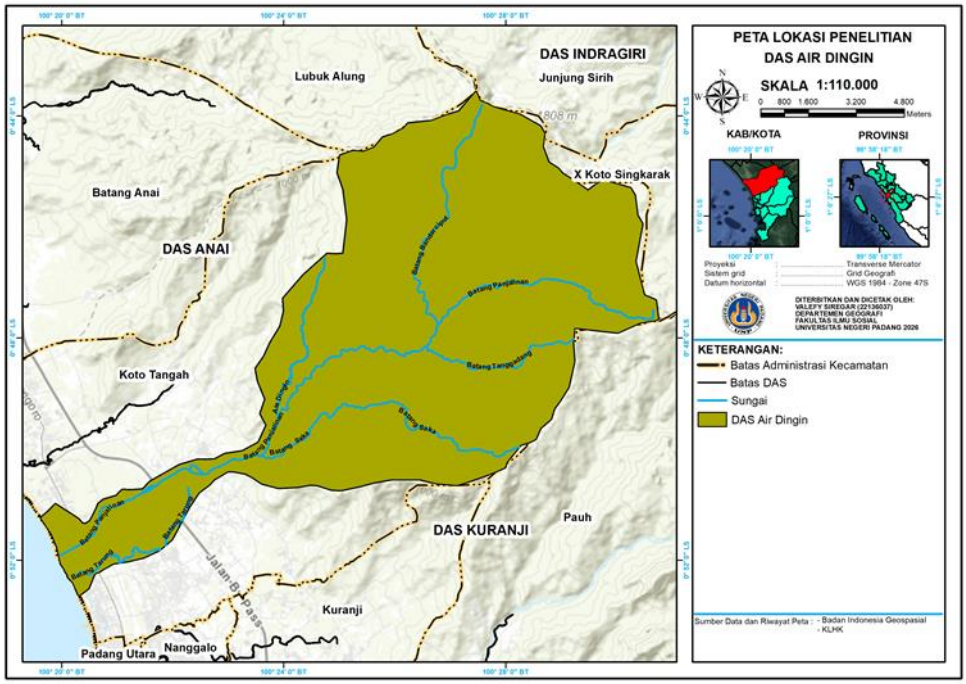
Cellular Automata (CA) merupakan salah satu metode yang mampu menggambarkan bagaimana suatu fenomena berubah secara keruangan, dengan mendasarkan proses tersebut pada interaksi antara satu sel dan sel-sel lain di sekelilingnya. Ketika diterapkan dalam pemodelan perubahan penggunaan lahan, tiap sel merepresentasikan jenis penggunaan lahan tertentu, sedangkan arah perubahannya ditentukan oleh kondisi penggunaan lahan pada sel-sel tetangga serta seperangkat aturan transisi yang telah ditetapkan dalam model. Melalui metode ini, dinamika penggunaan lahan dapat dianalisis tidak sebatas pada besaran perubahan luas wilayahnya, melainkan juga pada karakteristik pola sebarannya secara spasial (Sanjaya & Khoiridah, 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan menganalisis secara spasial berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan remote sensing. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi potensi banjir di DAS Air Dingin, dengan mempertimbangkan kondisi penggunaan lahan dan penurunan muka tanah. Penelitian ini melibatkan beberapa tahap, yaitu pemrosesan data, analisis penurunan tanah menggunakan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR), prediksi perubahan penggunaan lahan dengan model *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) melalui *plugin Molusce*, serta pemodelan potensi banjir berdasarkan skor dan bobot yang ditentukan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditetapkan. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk informasi spasial mengenai kondisi pada tahun 2025 dan hasil prediksi untuk tahun 2037.

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan antara Januari dan Mei 2026 di Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang. Dari segi astronomis, lokasi penelitian berada di antara 0°49''–0°58'' Lintang Selatan dan 99°36'40''– 100°21'11'' Bujur Timur. Ketinggian wilayah penelitian bervariasi antara sekitar 0 hingga 1.800 meter di atas permukaan laut. Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin, yang menjadi fokus penelitian ini, mencakup luas wilayah 128,01 km². Gambar 1 menyajikan gambaran umum lokasi dan batas-batas wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian DAS Air Dingin Kota Padang

3.2 Data dan Sumber

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan yang dilakukan untuk memverifikasi serta melengkapi informasi dari data sekunder. Data sekunder meliputi citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 yang diperoleh dari *European Space Agency* (ESA), data DEMNAS, jalan, permukiman, dan sungai dari Badan Informasi Geospasial

(BIG), data batas DAS dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), data jenis tanah dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), serta data curah hujan dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS).

Data penelitian mencakup data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui pengamatan lapangan untuk memverifikasi dan melengkapi informasi dari data sekunder. Data sekunder bersumber dari beberapa sumber, termasuk citra satelit Sentinel-1 dan Sentinel-2 yang disediakan oleh *European Space Agency* (ESA). Selain itu, terdapat pula data DEMNAS, jalan, pemukiman, dan sungai dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Batas-batas daerah aliran sungai disediakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Data jenis tanah berasal dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP), dan data curah hujan berasal dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS).

3.3 Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan tiga tahapan utama dalam analisis data yaitu, menganalisis penurunan permukaan tanah, memprediksi perubahan penggunaan lahan, dan membuat model potensi banjir.

3.3.1 Penururnan Muka Tanah (Land subsidence)

Analisis mengenai perubahan permukaan tanah dilakukan dengan menganalisis citra Sentinel-1 SLC dari tahun 2019, 2022, dan 2025. Nilai deformasi pada setiap periode pengamatan diekstraksi dari titik-titik analisis yang telah ditentukan, sehingga diperoleh rangkaian data perubahan permukaan untuk masing-masing lokasi. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan regresi linier (Persamaan 1), guna mengetahui laju perubahan permukaan tanah pada setiap titik. Mengingat nilai yang diperoleh terdiri atas angka positif dan negatif, dilakukan Normalisasi Min-Max untuk menyesuaikan rentang nilainya menjadi 0 hingga 1, sebagaimana ditunjukkan pada (Persamaan 2). Nilai hasil normalisasi ini kemudian dijadikan salah satu variabel yang memengaruhi model perubahan penggunaan lahan. Adapun sebaran spasial laju penurunan permukaan tanah divisualisasikan melalui interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW).

$$m = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Keterangan:

m : laju penurunan muka tanah
n : jumlah data pengamatan
x : tahun pengamatan
y : nilai penurunan muka tanah
$\sum x\, y$: jumlah hasil perkalian antara tahun pengamatan dan nilai penurunan muka tanah
$\sum x$: jumlah tahun pengamatan
$\sum y$: jumlah nilai penurunan muka tanah
$\sum x^2$: jumlah kuadrat tahun pengamatan

$$X' = \frac{X - Xmin}{Xmax - Xmin}$$

Keterangan:

X' : nilai hasil normalisasi
X : nilai laju penurunan muka tanah
$X_{\min}$: nilai laju penurunan muka tanah minimum
$X_{\max}$: nilai laju penurunan muka tanah maksimum

3.3.2 Prediksi Perubahan Penggunaaan Lahan 2037

Prediksi perubahan penggunaan lahan dibuat menggunakan model *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) melalui *plugin Molusce* di QGIS. Data penggunaan lahan dari tahun 2019 dan 2022 digunakan untuk mengetahui bagaimana berbagai jenis penggunaan lahan berubah seiring waktu. Pada pemodelan ini juga memasukkan tiga *driving factor*, yaitu *euclidean distance* jalan, *euclidean distance* permukiman, dan laju penurunan muka tanah. Faktor-faktor ini digunakan untuk menjelaskan situasi spasial yang berkaitan dengan kemungkinan terjadinya perubahan penggunaan lahan. Hasil simulasi kemudian divalidasi dengan membandingkan peta prediksi tahun 2025 dengan penggunaan lahan aktual pada tahun 2025. Kinerja model dievaluasi menggunakan *Percentage of Correctness* dan *Kappa Overall*. Model yang telah divalidasi tersebut kemudian digunakan untuk membuat prediksi mengenai penggunaan lahan pada tahun 2037.

3.3.3 Pemodelan Potensi Banjir

Pemodelan potensi banjir di DAS Air Dingin dilakukan dengan mengombinasikan beberapa parameter fisik wilayah, meliputi curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, jarak terhadap sungai, dan penggunaan lahan. Setiap parameter tersebut lebih dahulu dikelompokkan ke dalam beberapa kelas yang merepresentasikan besar-kecilnya kontribusi masing-masing terhadap kemungkinan terjadinya banjir. Tiap kelas kemudian diberi skor, sementara pembobotan pada masing-masing parameter ditetapkan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Setelah seluruh parameter memiliki skor dan bobot, proses overlay dilakukan untuk mengintegrasikan seluruh parameter tersebut sehingga dihasilkan nilai indeks potensi banjir. Nilai indeks yang diperoleh kemudian dikelompokkan ke dalam lima kelas, mulai dari sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, hingga sangat tinggi. Berdasarkan klasifikasi tersebut, disusunlah peta potensi banjir untuk tahun 2025 dan 2037 yang digunakan untuk mengamati perubahan luasan serta pola sebaran spasialnya pada kedua periode. Sementara itu, rincian skor dan bobot dari setiap parameter yang digunakan dalam analisis potensi banjir ini dapat dilihat pada Tabel 1, yang mengacu pada metode yang dikembangkan oleh (Kusumo & Nursari, 2016).

Tabel 1. Skor dan Pembobotan Parameter Potensi Banjir

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
Curah Hujan	> 2.500	9	1,5
	2.001 - 2.500	7	
	1.501 - 2.000	5	
	1.000 - 1.500	3	
	< 1.000	1	
Kemiringan Lereng	0 - 8%	9	1
	8 - 15%	7	
	15 - 25%	5	
	25 - 40%	3	
	> 40%	1	
Jenis Tanah	Vertisol, Oxisol	9	1

	Alfisol, Ultisol, Molisol	7	
	Inceptisol	5	
	Entisol, Histosol	3	
	Spodosol, Andisol	1	
Penggunaan Lahan	Lahan Terbuka - Badan Air - Tambak	9	2,5
	Permukiman - Sawah	7	
	Perkebunan - Tegalan	5	
	Kebun Campuran - Semak Belukar	3	
	Hutan	1	
Jarak Dari Sungai	0 - 25 m	9	2
	25 - 50 m	7	
	50 - 75 m	5	
	75 - 100 m	3	
	> 100 m	1	

Sumber: (Kusumo & Nursari, 2016)

Nilai kerentanan banjir dihitung menggunakan persamaan matematika yang sama dengan yang digunakan dalam proses overlay untuk menentukan tingkat kerentanan banjir (Persamaan 3). Nilai total tersebut kemudian dibagi ke dalam kelompok-kelompok tingkat kerentanan yang berbeda menggunakan rumus tertentu, yang membantu menentukan kerentanan banjir berdasarkan rentang nilai tertentu. Untuk menentukan tingkat risiko banjir selama proses klasifikasi, digunakan persamaan yang ditunjukkan sebagai (Persamaan 4).

$$KB = 1{,}5 \times CH + 1 \times KL + 1 \times JT + 2{,}5 \times PL + 2 \times JS \ldots (3)$$

Keterangan:

KB : Kerawanan Banjir
CH : Curah Hujan
KL : Kemiringan Lereng
JT : Jenis Tanah
PL : Penggunaan Lahan
JS : Jarak dari sungai

$$I = \frac{R}{K} \quad \text{(4)}$$

Keterangan:

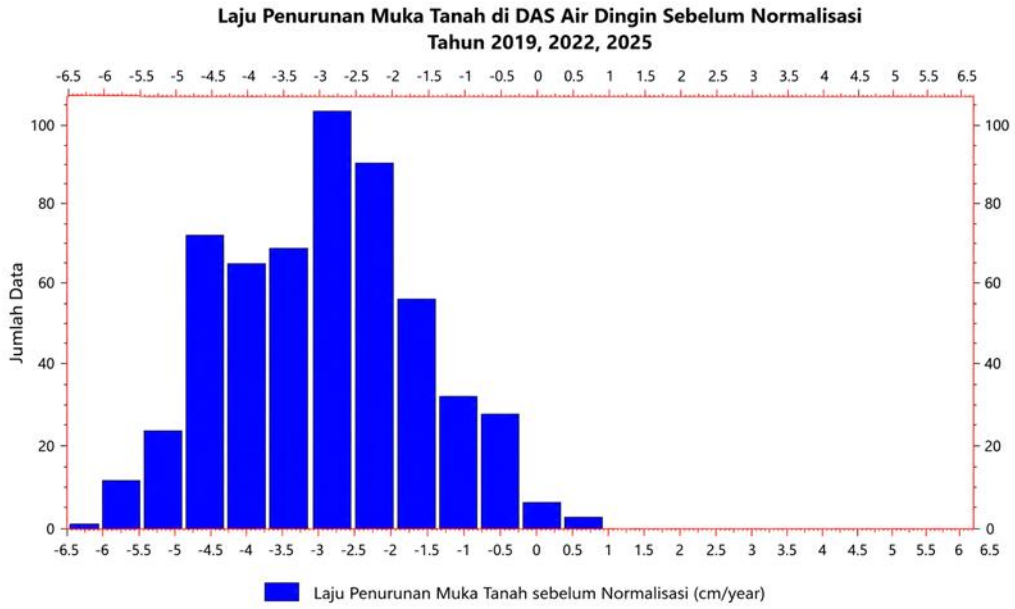
I : Lebar interval kelas
R : Range/rentang nilai tertinggi dan nilai terendah
K : Jumlah interval kelas

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penurunan Muka Tanah (Land subsidence)

Berdasarkan pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode DInSAR, diperoleh informasi mengenai deformasi permukaan tanah pada tahun 2019, 2022, dan 2025. Ketiga periode data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung besaran perubahan permukaan tanah pada setiap titik pengamatan melalui pendekatan regresi linier. Hasil analisis menunjukkan bahwa

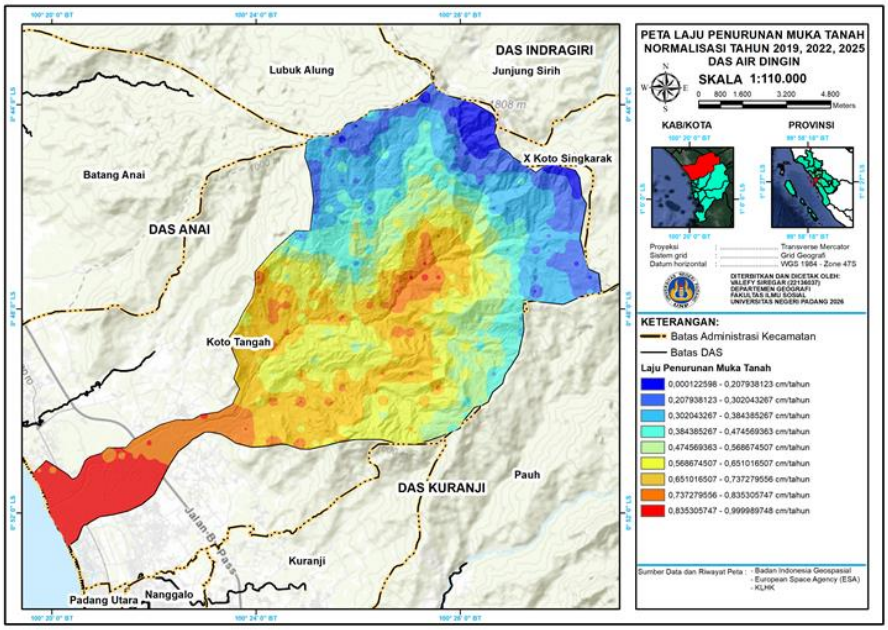
permukaan tanah di Daerah Aliran Sungai Air Dingin mengalami perubahan dengan laju berkisar antara -6,18 hingga 0,38 sentimeter per tahun, sebagaimana disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Laju Penurunan Muka Tanah sebelum Normalisasi

Laju penurunan muka tanah pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa sebagian besar titik pengamatan berada pada rentang nilai negatif, dengan puncak frekuensi berada di antara -3,0 dan -2,5 cm/tahun, sementara hanya sedikit titik yang mencatat nilai mendekati nol atau positif. Kondisi ini menegaskan bahwa fenomena penurunan tanah lebih sering terjadi dibandingkan kenaikan permukaan tanah di lokasi-lokasi yang diteliti.

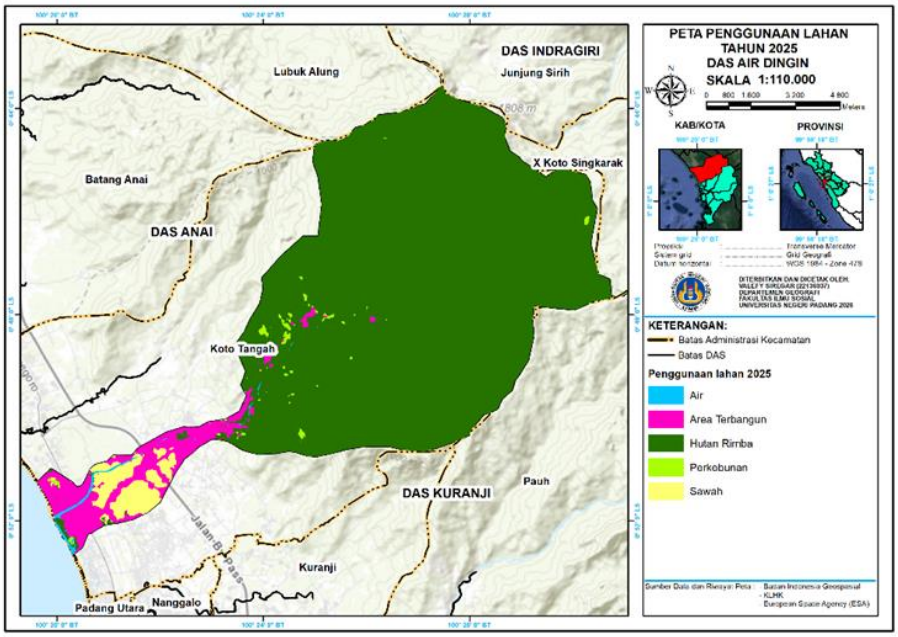
Nilai-nilai laju tersebut selanjutnya dinormalisasi menggunakan metode *Min-Max* untuk memastikan seluruh data berada pada skala yang seragam, yaitu berkisar antara 0,0001 hingga 0,9999. Hasil normalisasi ini kemudian digunakan sebagai salah satu faktor pendukung dalam pemodelan perubahan penggunaan lahan berbasis CA-Markov. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3, peta hasil normalisasi memperlihatkan bahwa nilai tinggi hanya terkonsentrasi pada wilayah-wilayah tertentu, yang mengindikasikan bahwa pengaruh penurunan permukaan tanah terhadap model tidak terdistribusi secara merata di seluruh area kajian.



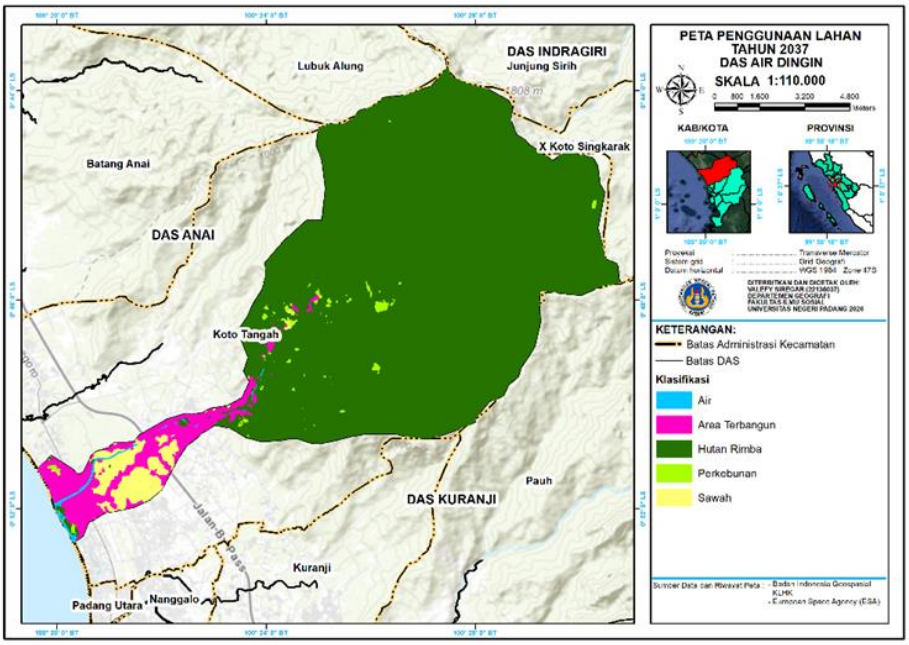
Gambar 3. Peta Laju Penurunan Muka Tanah setelah Normalisasi

4.2 Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan tahun 2037

Prediksi perubahan penggunaan lahan dihasilkan menggunakan model Cellular Automata-Markov (CA-Markov), dengan data penggunaan lahan tahun 2019 dan 2022 sebagai basis pemodelan. Simulasi ini mempertimbangkan tiga driving factor yaitu jarak terhdap permukiman, jarak terhadap jalan, dan laju penurunan permukaan tanah, untuk menilai peluang terjadinya perubahan pada masing-masing kategori penggunaan lahan. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data penggunaan lahan tahun 2025 guna mengukur tingkat akurasinya. Setelah model dinyatakan memenuhi kriteria akurasi yang ditetapkan, model tersebut kemudian digunakan untuk memproyeksikan skenario penggunaan lahan tahun 2037 di Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin. Peta penggunaan lahan tahun 2025 dan hasil prediksi penggunaan lahan tahun 2037 masing-masing disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan DAS Air Dingin tahun 2025



Gambar 5. Peta Penggunaan Lahan DAS Air Dingin tahun 2037

Hasil pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa prediksi penggunaan lahan tahun 2037 relatif konsisten dengan kondisi tahun 2025, dengan hutan rimba tetap mendominasi sebagian besar DAS Air Dingin dan kawasan terbangun tetap berada pada lokasi yang sama seperti sebelumnya. Perubahan yang terjadi hingga 2037 tersebar pada beberapa kategori penggunaan lahan, namun dalam cakupan yang kecil sehingga tidak mengubah pola penggunaan lahan secara mendasar. Perbandingan rinci antara kedua periode tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Perubahan Penggunaan Lahan DAS Air Dingin Tahun 2025 dan 2037

No	Klasifikasi Penggunaan Lahan	Tahun 2025 (ha)	Tahun 2037 (ha)	Perubahan (ha)	Keterangan
1	Sungai	49,61	53	+3,39	Meningkat
2	Area Terbangun	794,37	771,35	−23,02	Menurun
3	Hutan Rimba	11.493,36	11.469,41	−23,95	Menurun
4	Perkebunan	68,15	91,17	+23,02	Meningkat
5	Sawah	395,22	415,78	+20,56	Meningkat
	Total	12.800,71	12.800,71	-	-

Sumber: Hasil Olahan Penelitian (2026)

Berdasarkan Tabel 2, prediksi penggunaan lahan tahun 2037 menunjukkan bahwa hutan rimba akan tetap menjadi kelas dominan dalam struktur penggunaan lahan di wilayah tersebut. Luas hutan rimba diperkirakan mencapai 11.469,41 hektar, atau setara dengan hampir 89,60% dari total luas DAS Air Dingin, mengalami penurunan sebesar 23,95 hektar dibandingkan kondisi tahun 2025. Di sisi lain, kawasan terbangun diproyeksikan berkurang sebesar 23,02 hektar, sementara kawasan perkebunan dan sawah masing-masing diperkirakan meningkat sebesar 23,02 hektar dan 20,56 hektar. Luas sungai juga diproyeksikan mengalami peningkatan sebesar 3,39 hektar. Perubahan-perubahan tersebut mengindikasikan bahwa model tidak memprediksi adanya transformasi penggunaan lahan yang drastis hingga tahun 2037. Dinamika yang paling menonjol justru terletak pada redistribusi luasan antarkelas, khususnya yang melibatkan kawasan permukiman, perkebunan, dan sawah. Dengan demikian, lanskap penggunaan lahan pada tahun 2037 diperkirakan akan tetap mempertahankan karakteristik utama yang teridentifikasi pada tahun 2025. Pola prediksi ini bersumber dari probabilitas transisi yang dihitung berdasarkan perubahan penggunaan lahan antara tahun 2019 dan 2022, serta pengaruh faktor-faktor pendorong yang digunakan dalam model CA-Markov.

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil proyeksi penggunaan lahan tahun 2025 terhadap kondisi aktual pada tahun yang sama. Hasil validasi menunjukkan nilai *Percentage of Correctness* sebesar 89,68%, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar piksel hasil proyeksi telah sesuai dengan kondisi penggunaan lahan sebenarnya di lapangan. Nilai *Kappa Overall* sebesar 0,46469 berada pada kategori sedang, sementara nilai *Kappa Location* sebesar 0,65072 termasuk dalam kategori *substansial*. Perbedaan antara kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki tingkat konsistensi spasial yang lebih baik dibandingkan dengan konsistensi klasifikasi kelas penggunaan lahan secara keseluruhan. Hasil validasi ini menjadi dasar yang memadai untuk melanjutkan simulasi perubahan penggunaan lahan hingga tahun 2037.

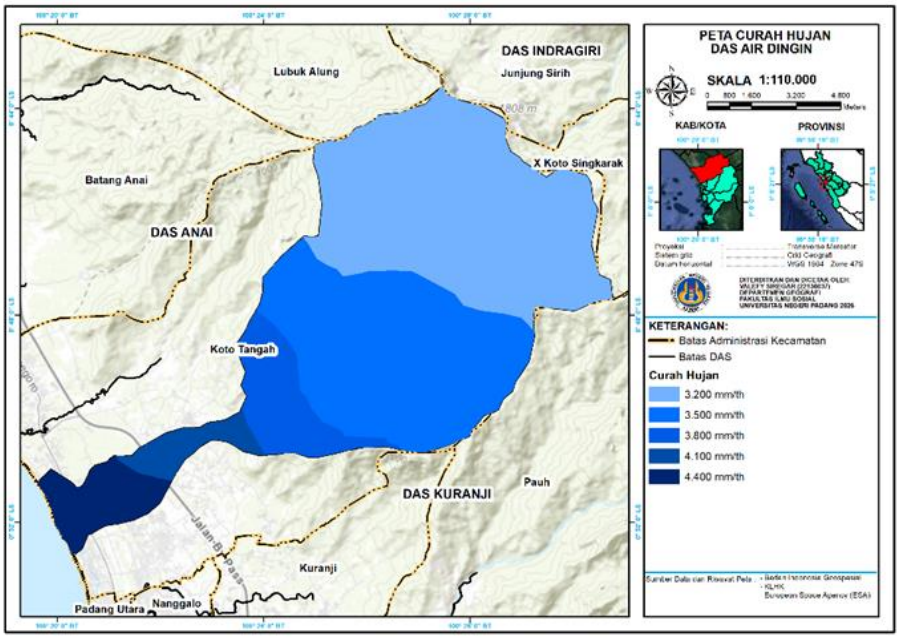
4.3 Pemodelan Potensi Banjir

Analisis potensi banjir di DAS Air Dingin dilakukan menggunakan metode skoring dan pembobotan terhadap lima parameter, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, jarak ke sungai, dan penggunaan lahan. Masing-masing faktor dikelompokkan berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap kerawanan banjir, diberi skor dan bobot, kemudian diintegrasikan untuk menghasilkan peta potensi banjir.

4.3.1 Curah Hujan

Analisis curah hujan dilakukan menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) untuk menggambarkan variasi spasial curah hujan di wilayah DAS Air Dingin. Hasil interpolasi mengelompokkan curah hujan ke dalam lima kelas, yaitu 3.200 mm/tahun, 3.500 mm/tahun, 3.800

mm/tahun, 4.100 mm/tahun, dan 4.400 mm/tahun. Kelas curah hujan 3.200 mm/tahun mencakup wilayah terluas, yaitu 5.753,17 hektar atau setara 44,94% dari total luas DAS, sementara kelas 4.100 mm/tahun memiliki cakupan terkecil, yaitu 491,13 hektar atau 3,84%. Distribusi spasial curah hujan tersebut disajikan pada Gambar 6.

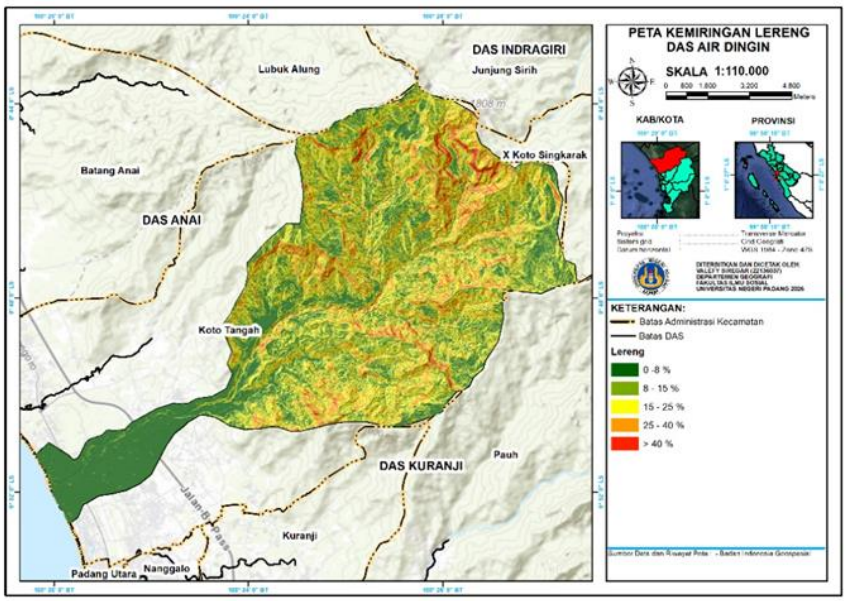


Gambar 6. Peta Curah Hujan DAS Air Dingin

4.4 Kemiringan Lereng

Hasil analisis kemiringan lereng menunjukkan bahwa topografi DAS Air Dingin terbagi ke dalam lima kelas kemiringan lereng. Variasi kemiringan lereng tersebut menunjukkan perbedaan karakteristik topografi yang berpengaruh terhadap pergerakan aliran permukaan. Kelas kemiringan lereng dengan luasan terbesar terdapat pada kelas 15-25% yakni 4.117,74 ha atau 32,15% dari total wilayah penelitian, sedangkan kelas dengan luasan terkecil memiliki luas 251,93 ha atau 1,97% dan terdapat pada kelas lereng >40%. Kelas kemiringan lereng di DAS Air Dingin disajikan pada Gambar 7.

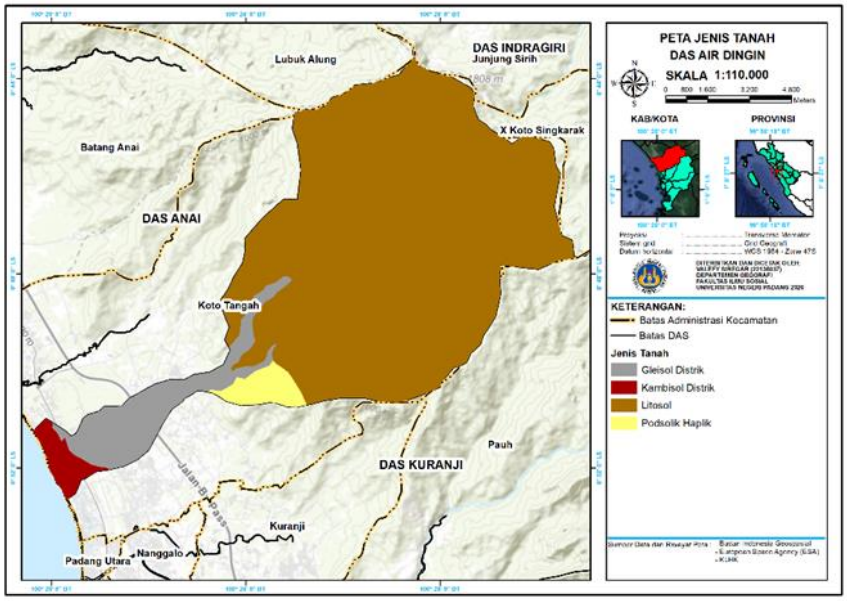
Hasil penilaian kemiringan lereng menunjukkan bahwa topografi DAS Air Dingin dapat diklasifikasikan ke dalam lima kategori kemiringan, yang mencerminkan variasi karakteristik topografi yang berpengaruh terhadap pola aliran permukaan *(surface runoff)*. Kelas kemiringan 15–25% mencakup wilayah terluas, yaitu 4.117,74 hektar atau 32,15% dari total area yang dinilai, sedangkan kelas kemiringan >40% memiliki cakupan terkecil, yaitu 251,93 hektar atau 1,97%. Sebaran spasial kategori kemiringan lereng di DAS Air Dingin disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta Kemiringan Lereng DAS Air Dingin

4.5 Jenis Tanah

Karakteristik jenis tanah di DAS Air Dingin menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Hasil klasifikasi mengidentifikasi empat jenis tanah yang berbeda di wilayah penelitian, masing-masing dengan luasan yang bervariasi. Jenis tanah Litosol mendominasi wilayah kajian dengan luas 10.935,12 hektar (85,43%), sedangkan jenis tanah Kambisol memiliki cakupan terkecil, yaitu 295,50 hektar (2,31%). Distribusi spasial jenis tanah tersebut ditampilkan pada Gambar 8.

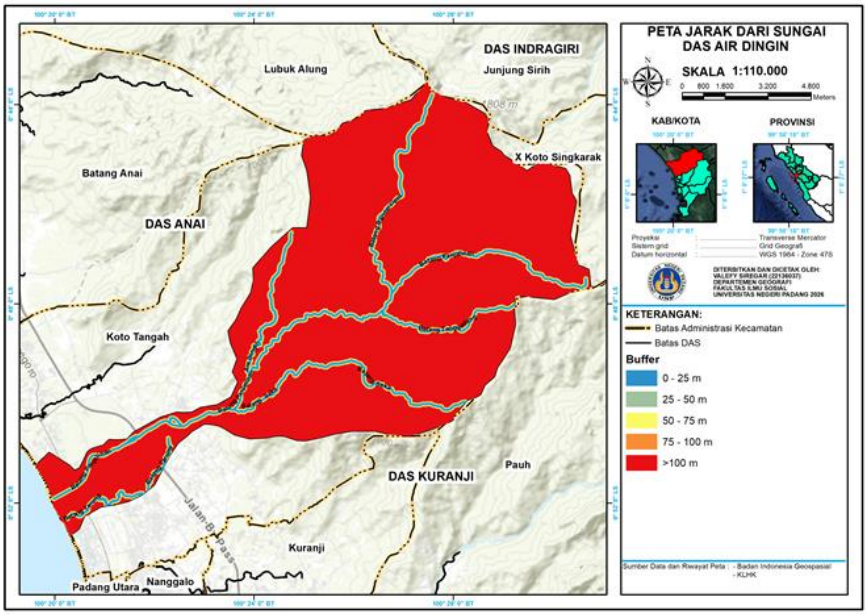


Gambar 8. Peta Jenis Tanah DAS Air Dingin

4.6 Jarak dari Sungai

Jarak dari sungai merupakan salah satu faktor yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kedekatan suatu wilayah terhadap sungai. Berdasarkan hasil analisis, zona penyangga

(buffer) sungai di DAS Air Dingin diklasifikasikan ke dalam lima kelas jarak, yaitu 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, dan >100 m. Klasifikasi jarak terhadap sungai tersebut disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta Jarak dari Sungai DAS Air Dingin

4.7 Penggunaan Lahan

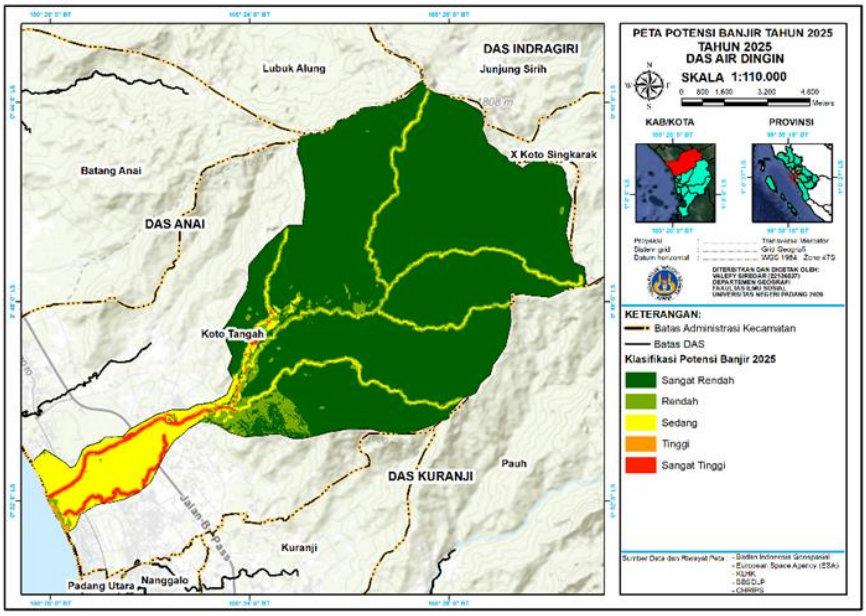
Peta penggunaan lahan tahun 2025 dan hasil prediksi tahun 2037 di DAS Air Dingin disajikan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa penggunaan lahan pada kedua periode terdiri atas lima kelas, yaitu hutan rimba, area terbangun, sawah, perkebunan, dan sungai. Hutan rimba menjadi kelas penggunaan lahan yang mendominasi wilayah penelitian, sedangkan sungai memiliki luasan paling kecil. Hasil prediksi hingga tahun 2037 menunjukkan perubahan pada beberapa kelas penggunaan lahan, yang ditandai dengan penurunan luas area terbangun serta peningkatan luas sawah, perkebunan, dan sungai. Perubahan luas masing-masing kelas penggunaan lahan disajikan pada Tabel 2.

Gambar 10 dan Gambar 11 menyajikan peta penggunaan lahan DAS Air Dingin untuk tahun 2025 dan hasil prediksi pada tahun 2037. Kedua periode tersebut terdiri atas lima kategori penggunaan lahan yang sama, yaitu hutan rimba, area terbangun, sawah, lahan pertanian, dan sungai, dengan hutan rimba sebagai kategori terluas dan sungai sebagai kategori terkecil. Proyeksi tahun 2037 memperlihatkan pergeseran komposisi penggunaan lahan berupa penurunan luas kawasan area terbangun yang diimbangi dengan perluasan sawah, lahan pertanian, dan sungai. Perubahan luas masing-masing kategori tersebut dirangkum pada Tabel 2.

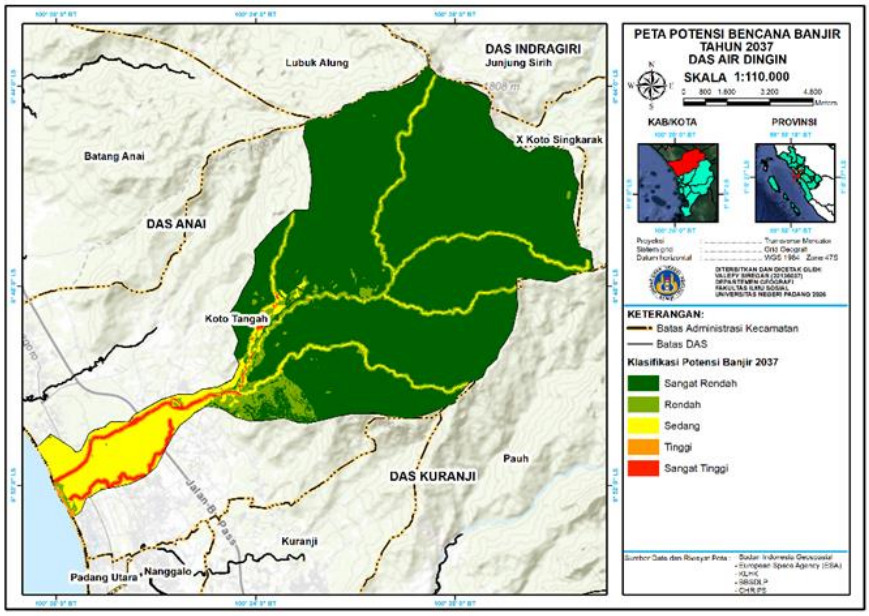
4.8 Potensi Banjir

Peta potensi banjir untuk tahun 2025 dan hasil prediksinya pada tahun 2037 di DAS Air Dingin diperoleh melalui penggabungan lima parameter, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, jarak terhadap sungai, dan penggunaan lahan, yang diolah menggunakan pendekatan skoring dan pembobotan. Peta yang dihasilkan merupakan representasi kumulatif dari seluruh parameter tersebut dan berfungsi untuk mengidentifikasi perbedaan tingkat potensi bencana banjir

antara kedua periode waktu yang dikaji. Hasil pemetaan potensi banjir ini dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

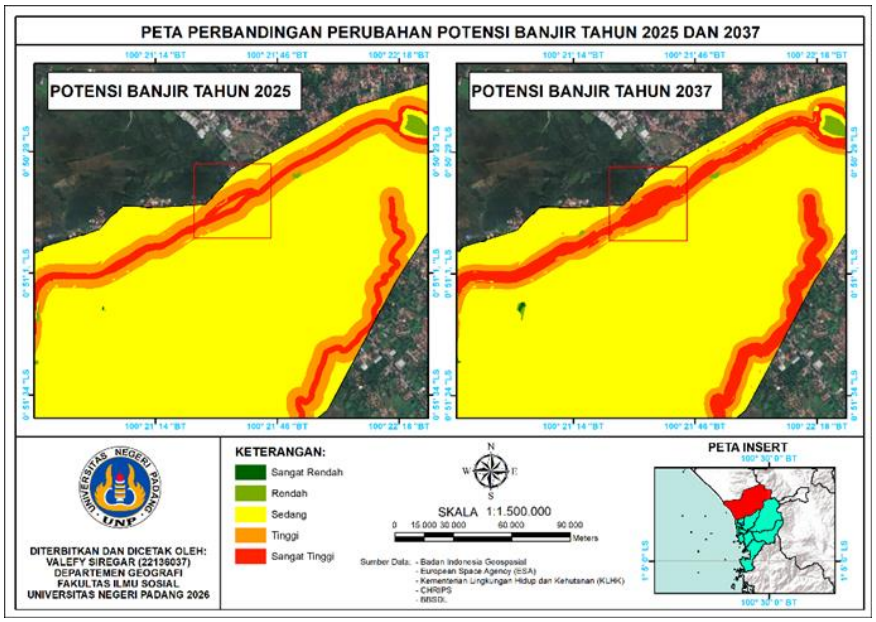


Gambar 10. Peta Potensi Banjir DAS Air Dingin tahun 2025



Gambar 11. Peta Potensi Banjir DAS Air Dingin tahun 2037

Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai hasil pemodelan, kondisi potensi banjir yang diperkirakan terjadi pada tahun 2037 dianalisis dengan mengacu pada kondisi tahun 2025. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan pada setiap kategori potensi banjir, terutama terkait pola spasial dan perubahan luasannya. Dinamika perubahan kategori potensi banjir dari tahun 2025 hingga 2037 dapat diamati pada peta perbandingan yang disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Peta Perbandingan Potensi Banjir DAS Air Dingin tahun 2025 dan 2037

Tabel 3. Matriks Perubahan Potensi Banjir di DAS Air Dingin tahun 2025 dan 2037

Klasifikasi	Tahun 2025 (ha)	Tahun 2037 (ha)	Perubahan (ha)	Persentase (%)
Sangat Rendah	10.304,75	10.288,23	-16,52	-0,16
Rendah	949,4	967,82	+18,42	+1,94
Sedang	1.226,65	1.211,44	-15,21	-1,24
Tinggi	228,87	176,66	-52,21	-22,81
Sangat Tinggi	91,04	156,56	+65,52	+71,97
Total	12800,71	12800,71	-	-

Sumber: Hasil Olahan Penelitian (2026)

Berdasarkan Gambar 12 dan Tabel 3, hasil pemodelan tahun 2025 dan 2037 menunjukkan adanya perubahan luas pada seluruh kategori potensi banjir. Kategori sangat rendah tetap menjadi kategori dengan cakupan terluas, meskipun mengalami penurunan sebesar 16,52 ha, yaitu dari 10.304,75 ha pada tahun 2025 menjadi 10.288,23 ha pada tahun 2037. Kategori rendah menunjukkan peningkatan sebesar 18,42 ha, sementara kategori menengah mengalami penurunan sebesar 15,21 ha. Perubahan paling signifikan terjadi pada kategori sangat tinggi, yang luasnya meningkat dari 91,04 ha pada tahun 2025 menjadi 156,56 ha pada tahun 2037, atau bertambah sebesar 65,52 ha. Sebaliknya, kategori tinggi mengalami penurunan luas terbesar, yaitu 52,21 ha. Variasi ini menunjukkan bahwa perubahan distribusi potensi banjir tidak terjadi secara seragam di seluruh wilayah, melainkan tercermin dalam bentuk penyesuaian luasan antarkategori. Pola ini berkaitan erat dengan proyeksi perubahan spasial penggunaan lahan serta parameter lain yang digunakan dalam analisis overlay. Meskipun perubahan penggunaan lahan secara keseluruhan relatif kecil, pergeseran pada lokasi-lokasi tertentu dapat memengaruhi nilai indeks potensi banjir pada level piksel. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan luas kategori sangat tinggi perlu mendapat

perhatian khusus dalam menginterpretasikan kondisi potensi banjir tahun 2037, mengingat perubahan tersebut merupakan yang paling *substansial* dibandingkan kategori lainnya.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju penurunan muka tanah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Dingin selama periode penelitian bervariasi antara -6,18 hingga 0,38 cm/tahun. Nilai-nilai tersebut kemudian dinormalisasi ke dalam rentang 0,0001–0,9999 dan digunakan sebagai salah satu driving factor dalam pemodelan perubahan penggunaan lahan. Proyeksi menggunakan metode CA-Markov menunjukkan bahwa hutan rimba tetap menjadi kelas penggunaan lahan yang paling dominan pada tahun 2037, dengan luas mencapai 11.469,41 hektare. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi tergolong kecil, ditandai dengan penurunan luas kawasan terbangun dan hutan rimba, serta peningkatan luas perkebunan, sawah, dan sungai. Validasi model menunjukkan *Percentage of Correctness* sebesar 89,68%, dengan nilai *Overall Kappa* sebesar 0,46469 dan *Kappa Location* sebesar 0,65072. Hasil pemodelan potensi banjir menunjukkan bahwa kategori sangat rendah tetap mendominasi DAS Air Dingin hingga tahun 2037, sementara perubahan paling signifikan terjadi pada kategori sangat tinggi, yang meningkat sebesar 65,52 hektare, dari 91,04 hektare pada tahun 2025 menjadi 156,56 hektare pada tahun 2037. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dan penurunan muka tanah dapat diintegrasikan secara bersamaan dalam pemodelan spasial untuk menggambarkan dinamika distribusi potensi banjir di DAS Air Dingin.

DAFTAR PUSTAKA

Asrul, Eraku, S., Agu, R. R., Maini, A. A., Lasamu, M., & Massi, S. (2025). Pengaruh Alih Fungsi Lahan Terhadap Kejadian Banjir di Kelurahan Leato Selatan Kecamatan Kota Timur Kota Gorontalo. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, *9*(1), 52–61. https://doi.org/10.29408/geodika.v9i1.29256

Awalina, R., & Naspendra, Z. (2024). Pengaruh Morfometri Daerah Aliran Sungai Air Dingin Dalam Upaya Mitigasi Bencana Banjir di Kota Padang. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, *12*(1), 55–61. https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2024.012.01.06

Balahanti, R., Mononimbar, Windy, ST., M., & MEDS, Dr. Ir. P. H. G. (2023). Analisis Tingkat Kerentanan Banjir Di Kecamatan Singkil Kota Manado. *Jurnal Spasial*, *11*(1), 69–79.

Caesario, D., Gisevius, K., Purwaningsih, E., Rachmawati, D., & Braun, B. (2025). Characterization of Hydrogeological Parameters for Groundwater Resource Management in Coastal Urban Environments: Patenggangan Beach, Padang City, West Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1547*(1), 1–12. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1547/1/012006

Edial, H., Wilis, R., Antomi, Y., & Desman, S. (2020). Analysis of Environmental Adaptation of Flooded Areas in Padang City. *TEST Engineering and Management*, *83*, 3237–3243.

Hariati, F., Muhammad Libasut Taqwa, F., Alimuddin, A., Salman, N., & Fadhillah Sulaeman, N. H. (2024). Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Laju Erosi Lahan Menggunakan Metode Universal Soil Loss Equation (USLE) pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciseel. *Tameh*, *11*(1), 52–61. https://doi.org/10.37598/tameh.v11i1.185

Iskandar, S. A., Helmi, M., Muslim, M., Widada, S., & Rochaddi, B. (2020). Analisis Geospasial Area Genangan Banjir Rob dan Dampaknya pada Penggunaan Lahan Tahun 2020—2025 di Kota Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, *2*(3), 271–282. https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i3.8668

Istiqomah, L. N., Sabri, L. M., & Sudarsono, B. (2020). Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Metode Survei Gnss Tahun 2019. *Jurnal Geodesi Undip*, *9*(2), 208–216.

Julzarika, A. (2023). Land Subsidence Dynamics in Malaysia Based on Time-Series Vertical Deformation Using Modified D-Insar Sentinel-1. *PLANNING MALAYSIA*, *21*(5), 325–340. https://doi.org/10.21837/pm.v21i29.1374

Kasnar, S., Hasan, M., Arfin, L., & Sejati, A. E. (2019). Kesesuaian Pemetaan Daerah Potensi Rawan Banjir Metode Overlay Dengan Kondisi Sebenarnya Di Kota Kendari. *Jurnal Tunas Geografi*, *08*(02), 85–92.

Kusumo, P., & Nursari, E. (2016). Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir Dengan Sistem Informasi Geografis Pada Das Cidurian Kab.Serang, Banten. *Jurnal String*, *1*(1), 29–38.

Mappatarai, M., Manaf, M., & Alimuddin, I. (2024). Tingkat Kerawanan, Mitigasi dan Adaptasi Banjir di Kota Malili Kabupaten Luwu Timur. *Urban and Regional Studies Journal*, *6*(2), 265–277. https://doi.org/10.35965/ursj.v6i2.4500

Mulia, F. A., & Handayani, W. (2024). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Kerawanan Bencana Banjir Kota Padang Tahun 2011-2022. *GEOID*, *19*(2), 192–201. https://doi.org/10.12962/geoid.v19i2.1205

Ridwan, M., & Sarjito, J. (2024). Studi Kajian Dampak Perubahan Tutupan Lahan terhadap Kejadian Banjir di Daerah Aliran Sungai. *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, *26*(1), 38. https://doi.org/10.20961/enviro.v26i1.93145

Sanjaya, T. S. S., & Khoiridah, S. (2025). Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Cellular Automata di Kecamatan Kedamean Kabupaten Gresik Tahun 2030. *Tunas Agraria*, *8*(3), 457–471. https://doi.org/10.31292/jta.v8i3.493

Sudrajat, A., Nurwulan, R. R. L., & Martina, A. S. (2025). Alih Fungsi Lahan Dan Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Di Kelurahan Jelekong Kecamatan Baleendah Kabupaten Bandung. *GEOAREA*, *08*(02), 47–56.

Sukmawati, R., Waqar, M. M., Syafriani, -, Yohandri, -, & Sumantyo, J. T. S. (2021). Land subsidence estimation using DinSAR method ALOS PALSAR image in Padang City West Sumatra, Indonesia. *PILLAR OF PHYSICS*, *14*(1), 41–49. https://doi.org/10.24036/10673171074

Triyatno, -, Berd, I., & Idris, -. (2023). Spatial Model of Flood Hazard Due to Land Cover Change in the Tarusan Watershed, West Sumatra-Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, *25*(108), 21–29. https://doi.org/10.21660/2023.108.3774

Umar, I., Marsoyo, A., & Setiawan, B. (2018). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Sekitar Danau Limboto Di Kabupaten Gorontalo. *Tata Kota Dan Daerah*, *10*(2), 77–90. https://doi.org/10.21776/ub.takoda.2018.010.02.3

Zawawi, N. H., Mohd Noor, N., & Chaabane, F. (2023). Sink Cities and Land Subsidences: How It Affects the Development of Coastal City in Malaysia? *Malaysian Journal of Society and Space*, *19*(4), 77–92. https://doi.org/10.17576/geo-2023-1904-06