

Flood Inundation Potential Analysis in Denpasar City Using Topographic Wetness Index from Digital Elevation Model

Akbar Cahyadi Pratama Putra^{1,2*}, Theresia Puan Bertiana Wardoyo³, Ni Putu Nanda
Surya Dewi Tilija¹, Putu Venita Wirastuti¹, Tantri Utami Widhaningtyas⁴

¹Balai Wilayah Sungai Bali Penida, Denpasar, Indonesia

²Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Udayana, Denpasar, Indonesia

³Geografi Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

⁴Badan Pertanahan Nasional Kabupaten Tabanan, Tabanan, Indonesia

Email: akbarcahyadhi@gmail.com*, theresiapuann@gmail.com,
nandasuryadewii@gmail.com, venitawirastuti1998@gmail.com, tantriutamiw@gmail.com

17 Januari 2026 / Revised 24 Januari 2026 / Accepted 2 Februari 2026

ABSTRAK

Banjir genangan sering terjadi di wilayah perkotaan, termasuk Kota Denpasar, akibat topografi, karakteristik daerah aliran sungai (DAS), dan perubahan penggunaan lahan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi genangan banjir menggunakan algoritma Topographic Wetness Index (TWI) berbasis Digital Elevation Model (DEM) multiresolusi serta mengevaluasi pengaruh resolusi spasial terhadap akurasi hasil pada skala perkotaan. Kebaruan penelitian terletak pada perbandingan kinerja DEM SRTM (30 m) dan ALOS PALSAR (12,5 m) untuk TWI pada DAS kecil perkotaan yang masih terbatas dikaji. Kedua DEM diseragamkan pada datum vertikal EGM 2008 dan dianalisis pada sembilan DAS sekitar Kota Denpasar. Hasil TWI diklasifikasikan menjadi lima kelas potensi genangan dan divalidasi menggunakan 33 titik kejadian banjir periode September–Desember 2025 menggunakan analisis sensitivitas berbasis confusion matrix kejadian. Hasil menunjukkan ALOS PALSAR memiliki tingkat sensitivitas kesesuaian lebih tinggi (30,30%) dibanding SRTM (24,24%). Resolusi DEM lebih tinggi terbukti meningkatkan sensitivitas TWI dalam mendeteksi potensi genangan perkotaan dan mendukung perencanaan mitigasi banjir.

Kata kunci: ALOS PALSAR, banjir, digital elevation model, SRTM, topographic wetness index

ABSTRACT

Flood inundation frequently occurs in urban areas, including Denpasar City, due to topography, watershed characteristics, and land-use changes. This study aims to identify flood inundation potential using the Topographic Wetness Index (TWI) derived from multiresolution Digital Elevation Models (DEM) and to evaluate the effect of spatial resolution on model accuracy at the urban scale. The novelty lies in comparing SRTM (30 m) and ALOS PALSAR (12.5 m) DEM performance for TWI modelling in small urban watersheds. Both DEMs were standardized to the EGM 2008 vertical datum and analyzed across nine watersheds surrounding Denpasar. TWI outputs were classified into five inundation-potential classes and validated using 33 flood event points (September–December 2025) through event-based confusion matrix sensitivity analysis. Results indicate that ALOS PALSAR achieved higher sensitivity (30.30%) than SRTM (24.24%). Higher DEM resolution improves TWI sensitivity in detecting urban flood potential and provides more reliable information for flood mitigation planning.

Keywords: ALOS PALSAR, digital elevation model, flood, SRTM, topographic wetness index

1. PENDAHULUAN

Bencana banjir merupakan bencana dengan frekuensi atau intensitas terjadi paling tinggi khususnya di kota-kota besar di Indonesia [1]. Faktor penyebab banjir dapat dipengaruhi oleh tingginya curah hujan, berkurangnya daerah resapan air, tersumbatnya drainase perkotaan akibat masyarakat yang tidak peduli dengan lingkungan, dan faktor fisik lainnya [2]. Sehingga secara umum, faktor penyebab banjir dapat dikategorikan menjadi faktor alam dan non alam [3]. Bencana banjir selain merugikan secara materi, juga mengancam kehidupan manusia dan ekosistem sekitarnya [4]. Berdasarkan data jumlah kejadian bencana di Provinsi Bali, jumlah kejadian banjir di Kota Denpasar berjumlah 37 kali pada tahun 2021 dan merupakan jumlah kejadian tertinggi di antara kabupaten lainnya di Provinsi Bali [5].

Pada bulan September 2025 lalu, terjadi bencana banjir besar di Kota Denpasar. Kejadian tersebut diduga erat kaitannya dengan tingginya intensitas curah hujan dan tingginya konversi lahan di bagian hulu DAS [6]. Bencana banjir tersebut mengakibatkan hancurnya infrastruktur dan menelan korban jiwa. Oleh karena itu diperlukan upaya mitigasi bencana untuk mengurangi dampak negatif dari bencana banjir, salah satunya dengan pembuatan peta risiko banjir [7]. Berdasarkan data yang diperoleh dari Permen PUPR No. 4 Tahun 2015 tentang penetapan wilayah sungai, Kota Denpasar merupakan hilir yang dilalui oleh 9 DAS, meliputi DAS Abianbasa, DAS Ayung, DAS Badung, DAS Buaji, DAS Loloan, DAS Mati, DAS Ngenjung, DAS Serangan, dan DAS Singapadu [8]. Sehingga apabila terjadi konversi lahan yang semakin intensif di bagian hulu dari sembilan DAS tersebut, maka akan meningkatkan risiko bencana banjir di Kota Denpasar.

Salah satu upaya mitigasi bencana dapat dilakukan dengan membuat model hidrologi berbasis topografi dengan memanfaatkan data DEM (*Digital Elevation Model*). Data DEM adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan [9]. Perhitungan tingkat kerawanan banjir dengan faktor topografi dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode algoritma TWI [10]. Metode algoritma TWI merupakan metode pengukuran akumulasi air dan arah limpasan pada suatu daerah dengan mempertimbangkan topografi dari lereng atas hingga lereng bawah [11, 12, 13, 14]. Pemanfaatan algoritma TWI mampu memodelkan prediksi genangan banjir dan dinilai lebih efisien dibandingkan dengan metode hidrodinamik konvensional [15]. Metode algoritma TWI juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang terdampak banjir dan genangan yang disebabkan oleh hujan [16]. Hasil pengolahan algoritma TWI dapat diintegrasikan dengan data spasial tambahan lain melalui pengolahan Sistem Informasi Geografis (SIG) [1]. Terdapat hubungan hasil nilai algoritma TWI dengan kelembaban tanah, sehingga dapat diasumsikan bahwa tanah yang lembab memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi [17].

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan algoritma *Topographic Wetness Index* (TWI) untuk analisis kerawanan banjir, yang umumnya masih menggunakan data DEM dengan resolusi spasial sedang, yaitu 30 meter [18, 19, 20]. Meskipun pendekatan tersebut cukup efektif dalam mengidentifikasi kecenderungan akumulasi limpasan, keterbatasan resolusi spasial berpotensi mengurangi tingkat ketelitian dalam merepresentasikan kondisi topografi mikro khususnya pada wilayah perkotaan. Hingga saat ini kajian secara sistematis membandingkan performa DEM multiresolusi antara SRTM dan ALOS PALSAR dalam pemodelan TWI untuk wilayah hilir multi-DAS masih terbatas. Padahal, dalam konteks perubahan iklim yang ditandai oleh peningkatan intensitas dan frekuensi kejadian hujan ekstrem, kebutuhan akan informasi spasial yang lebih rinci menjadi semakin mendesak untuk mendukung perencanaan mitigasi bencana yang adaptif dan berbasis bukti [14]. Semakin tinggi resolusi DEM, semakin detail representasi kondisi topografi yang dihasilkan, sehingga memungkinkan pemodelan

proses hidrologi yang lebih akurat, khususnya dalam mengidentifikasi area akumulasi limpasan dan potensi genangan [14]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran potensi genangan banjir di Kota Denpasar serta membandingkan kemampuan DEM hasil ekstraksi SRTM dan ALOS PALSAR dengan resolusi spasial berbeda dalam pemetaan genangan banjir. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam mendukung upaya pengurangan risiko bencana banjir serta sejalan dengan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 11 dan SDG 13, melalui penyediaan informasi spasial yang lebih akurat sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan wilayah dan mitigasi bencana di Kota Denpasar.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kota Denpasar, Provinsi Bali yang terletak di antara 115°13'12.670" BT dan 8°39'53.818" LS, dapat dilihat pada Gambar 1. Secara administrasi mencakup beberapa kecamatan, di antaranya: Kecamatan Denpasar Timur, Kecamatan Denpasar Utara, Kecamatan Denpasar Selatan, dan Kecamatan Denpasar Barat. Berdasarkan Permendagri No. 58 Tahun 2021, luas wilayah Kota Denpasar adalah sebesar 125,98 km² [21], dengan rincian luas masing- masing kecamatan adalah sebagai berikut :

- Kecamatan Denpasar Utara : 26,69 km²
- Kecamatan Denpasar Timur : 25,93 km²
- Kecamatan Denpasar Barat : 23,46 km²
- Kecamatan Denpasar Selatan : 49,89 km²



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Data

Pada penelitian ini digunakan dua sumber data DEM dengan resolusi spasial yang berbeda, yaitu data SRTM dan ALOS PALSAR. Data SRTM memiliki resolusi 30 meter [22], sedangkan ALOS PALSAR memiliki resolusi 12,5 meter [23]. Data DEM menjadi data primer yang digunakan dalam analisis algoritma TWI. Beberapa studi menunjukkan DEM beresolusi rendah belum cukup merepresentasikan

area genangan banjir, sehingga diperlukan data bersolusi tinggi dalam perhitungan TWI dan pemodelan banjir perkotaan [24, 25]. Diperlukan juga data sebaran banjir genangan Kota Denpasar yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida dengan rentang periode September hingga Desember 2025 sebagai data referensi untuk proses validasi model.

2.3 Metode

2.3.1. Algoritma *Topographic Wetness Index* (TWI)

Algoritma TWI pertama kali dikembangkan sebagai bagian dari pemodelan *runoff* [26, 27] dan dapat menunjukkan kejenuhan permukaan terhadap distribusi air tanah. Metode ini telah digunakan secara luas dalam pemodelan proses hidrologi, proses biologi, pola vegetasi, dan kehutanan [28]. TWI adalah indeks kebasahan topografi yang dapat mengukur kontrol topografi lokal selama proses hidrologi dan menunjukkan distribusi spasial kelembaban tanah [17, 29].

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menganalisis data TWI. Nilai TWI yang tinggi menunjukkan potensi akumulasi air yang lebih besar akibat kondisi topografi, sehingga dapat dikatakan bahwa lokasi yang memiliki nilai hasil algoritma TWI tinggi adalah area rawan banjir [14, 30, 31]. Perhitungan TWI biasanya didasarkan pada grid DEM [32]. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan TWI menggunakan ArcMap 10.8.1 dan SAGA GIS 9.5.1. Secara matematis, TWI dihitung menggunakan persamaan yang ditunjukkan pada Persamaan (1) [33].

$$TWI = \ln\left(\frac{\alpha}{\tan \beta}\right) \quad (1)$$

Dimana,

TWI : *Topographic Wetness Index*

α : Akumulasi aliran

β : Kemiringan lereng

Pemanfaatan algoritma TWI untuk pemetaan risiko bencana banjir di wilayah perkotaan sangat bermanfaat, karena mampu merepresentasikan variasi ketinggian topografi yang mempengaruhi pergerakan dan akumulasi aliran, sehingga mampu memprediksi skenario banjir [14]. Wilayah perkotaan dengan kondisi topografi yang bervariasi menunjukkan perilaku drainase dan banjir yang berbeda akibat konektivitas hidrologis yang unik [34].

Perhitungan *flow accumulation* atau akumulasi aliran menggunakan algoritma *Deterministic 8* (D8) yang tersedia pada perangkat lunak SAGA GIS 9.5.1. Algoritma tersebut dapat menentukan arah aliran berdasarkan arah gradien elevasi maksimum menuju ke salah satu dari delapan piksel tetangga terdekat [35]. Dalam formula TWI, nilai akumulasi aliran dikalikan dengan resolusi spasial DEM untuk merepresentasikan luas area kontribusi aliran per satuan lebar kontur (*specific catchment area*).

Kemiringan lereng atau *slope* adalah hasil perhitungan dari grid DEM dengan menggunakan metode *finite difference* [36]. Metode tersebut mengestimasi gradien berdasarkan elevasi pada nilai piksel utama terhadap delapan nilai piksel di sekitarnya. Nilai kemiringan lereng yang dihasilkan dalam bentuk satuan derajat yang kemudian akan dikonversi ke radian sebelum digunakan dalam formula TWI.

2.3.2. Kelas Interval Potensi Genangan

Nilai yang dihasilkan dari algoritma TWI akan memiliki rentang yang diklasifikasikan menjadi lima kelas potensi genangan banjir, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Pembagian rentang setiap kelas menggunakan metode interval sama (*equal interval*), terlepas dari berapa banyak

titik data yang terdapat dalam setiap interval [37]. Sehingga penentuan nilai kelas interval dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Kelas interval} = \frac{\text{Nilai Maksimum}-\text{Nilai Minimum}}{\text{Jumlah Kelas}} \quad (2)$$

2.3.3. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi potensi genangan banjir berbasis algoritma TWI dengan data genangan aktual periode September hingga Desember 2025 yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida. Metode evaluasi menggunakan pendekatan spasial dan statistik. Pendekatan spasial dilakukan melalui analisis *overlay* antara peta potensi genangan hasil pemodelan dan data genangan aktual untuk mengidentifikasi area yang memiliki kesesuaian dan ketidaksesuaian [38].

Evaluasi statistik dilakukan dengan menggunakan kerangka *confusion matrix* berbasis kejadian [39]. Pada penelitian ini, klasifikasi dibagi menjadi dua kelas yaitu tergenang dan tidak tergenang. Kelas tergenang merupakan kelas potensi genangan tinggi dan sangat tinggi, sedangkan tidak tergenang mencakup kelas sangat rendah hingga sedang. Karena data referensi yang tersedia hanya berupa titik banjir, evaluasi difokuskan pada kemampuan model dalam mendeteksi kejadian banjir. Oleh karena itu, metrik yang digunakan adalah *recall* (sensitivitas), sedangkan metrik lain seperti OA (*Overall Accuracy*) tidak dihitung karena tidak tersedia data referensi eksplisit untuk area tidak tergenang. Sensitivitas digunakan untuk merepresentasikan kemampuan model dalam mendeteksi kejadian banjir aktual [39, 40]. Secara matematis, sensitivitas dihitung menggunakan persamaan pada Persamaan (3).

$$\text{Sensitivitas} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

Dimana,

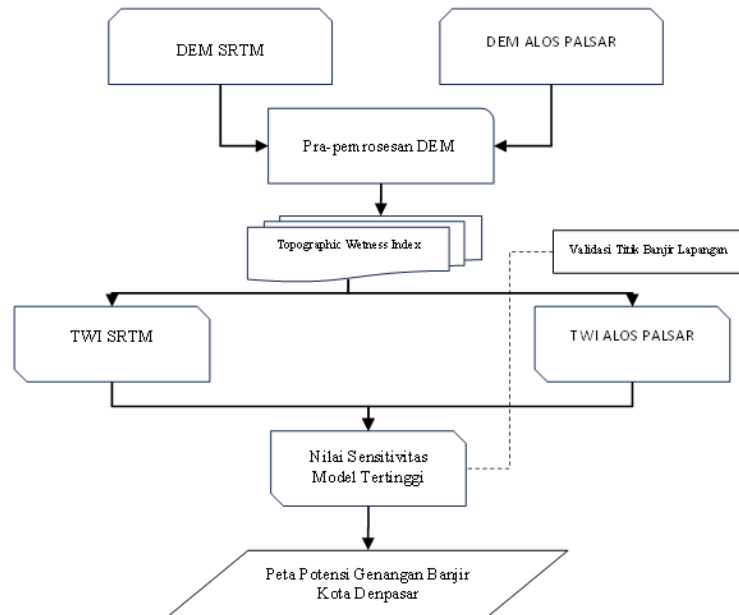
TP : *True Positive* adalah jumlah titik kejadian banjir yang terklasifikasi pada kelas potensi genangan tinggi dan sangat tinggi

FN : *False Negative* adalah jumlah titik kejadian banjir yang terklasifikasi pada kelas potensi genangan sangat rendah hingga sedang

Dengan demikian, pendekatan validasi pada penelitian ini tidak hanya menggunakan *overlay* spasial sederhana, tetapi telah dikembangkan menjadi evaluasi statistik berbasis *confusion matrix* melalui perhitungan sensitivitas.

2.4 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi pengumpulan data DEM SRTM dan ALOS PALSAR, pra-pemrosesan DEM, pemodelan *Topographic Wetness Index* dan analisis spasial, validasi menggunakan titik kejadian banjir lapangan, serta interpretasi hasil dalam bentuk peta potensi genangan banjir di Kota Denpasar. Setiap tahapan disusun untuk mendukung tercapainya tujuan penelitian secara sistematis. Alur penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir agar tahapan yang dilakukan dapat dipahami dengan lebih jelas, yang ditampilkan pada Gambar 2.



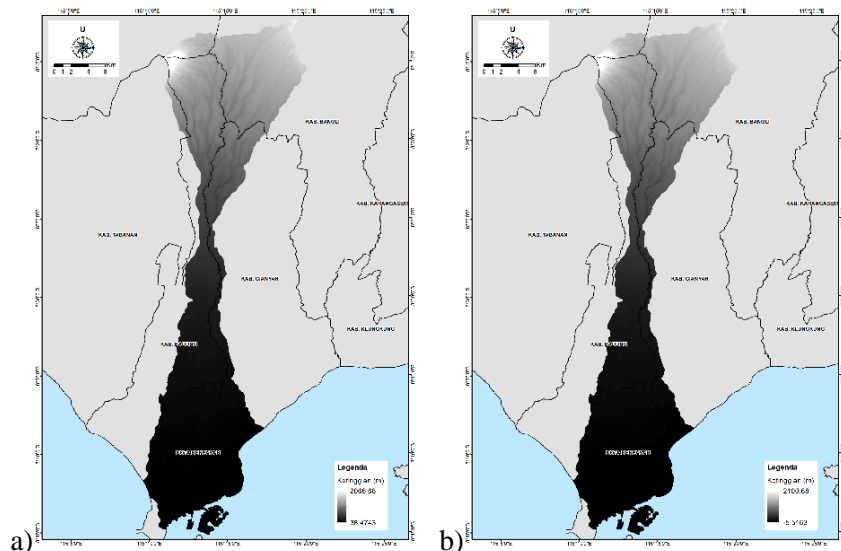
Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data DEM yang digunakan sebelumnya memiliki kelemahan, yaitu belum dilakukan koreksi referensi ketinggian (datum). Oleh karena itu, dilakukan koreksi dan penyamaan referensi undulasi geoid ke EGM 2008 karena memiliki ketelitian yang lebih tinggi. SRTM memiliki referensi datum ketinggian, yaitu EGM 1996, sedangkan data ALOS PALSAR menggunakan referensi datum ketinggian *Ellipsoid* WGS 84 [41]. Penyeragaman referensi ketinggian dilakukan untuk memastikan konsistensi serta meminimalkan bias vertikal pada data yang digunakan.

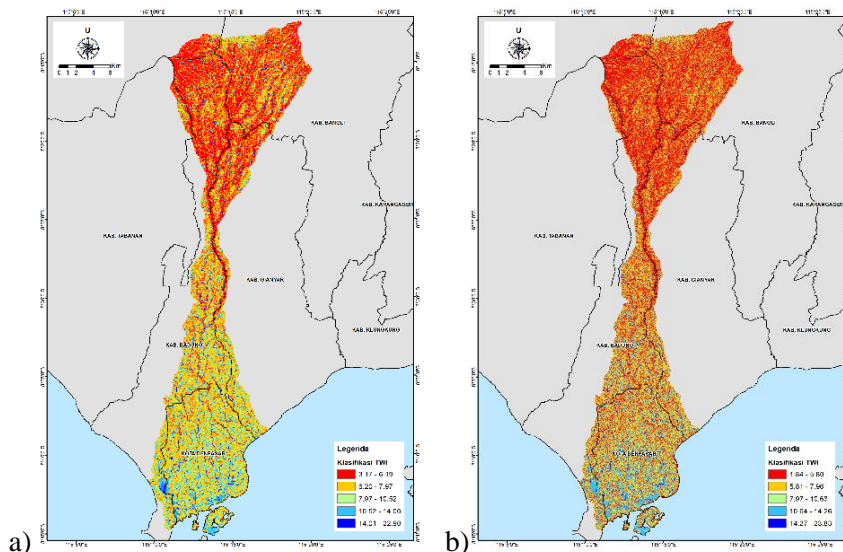
Analisa topografi dilakukan dari hulu hingga hilir pada seluruh DAS yang melintasi kawasan perkotaan Kota Denpasar. Hal ini dilakukan untuk melihat kondisi topografi secara menyeluruh tanpa batasan wilayah administrasi. Data DEM SRTM dan ALOS PALSAR beserta rentang ketinggian hasil koreksi datum dapat disajikan pada Gambar 3. Perbedaan ketinggian pada lokasi koordinat yang sama antara DEM SRTM dan ALOS PALSAR mencapai sekitar 30 meter. Perbedaan tersebut disebabkan oleh karakteristik sensor radar, resolusi spasial, serta kemampuan penetrasi terhadap vegetasi yang berbeda. Meskipun demikian, perbedaan tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil pemodelan karena analisis menggunakan referensi ketinggian relatif dan telah dilakukan penyeragaman datum vertikal.

Flood Inundation Potential Analysis in Denpasar City Using Topographic Wetness Index from Digital Elevation Model



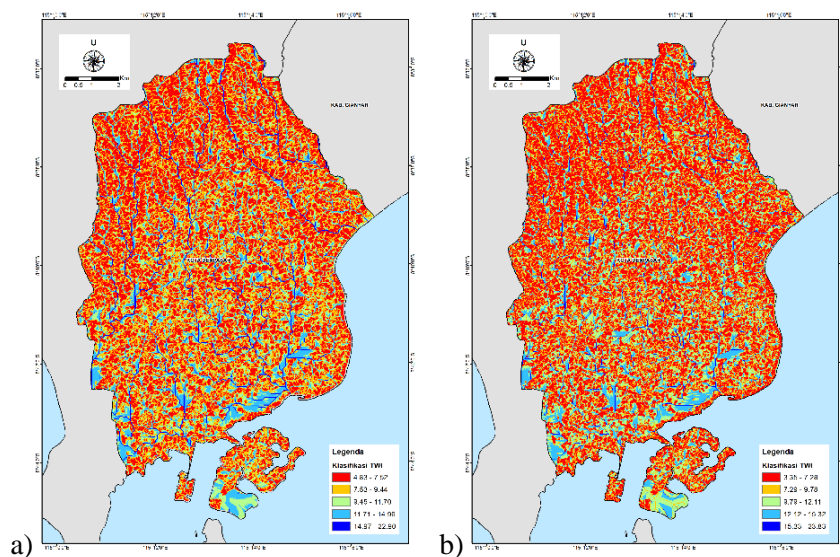
Gambar 3. a) Data DEM SRTM pada DAS sekitar Kota Denpasar, b) Data DEM ALOS PALSAR pada DAS sekitar Kota Denpasar

Hasil TWI dari masing- masing data DEM menghasilkan perbedaan tingkat kelas, yang ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan data yang telah diolah, nilai TWI terbagi menjadi lima kelas. Nilai TWI tinggi menunjukkan area atau lokasi tersebut memiliki tingkat akumulasi air atau tingkat kejenuhan terhadap air yang tinggi. Sedangkan untuk nilai TWI rendah menunjukkan area atau lokasi dengan tingkat akumulasi air yang rendah. Tingkat akumulasi air atau tingkat kejenuhan terhadap air pada kelas tinggi hingga sangat tinggi terjadi pada area dengan topografi dan kemiringan lereng relatif datar. Berdasarkan analisis terhadap sembilan DAS yang melintasi Kota Denpasar, wilayah hulu DAS memiliki tingkat akumulasi aliran air yang sangat rendah, terutama pada area dengan topografi dan kemiringan lereng curam hingga sangat curam. Nilai akumulasi aliran yang rendah juga ditemukan pada area punggung bukit atau igir topografi. Sebaliknya, pada area lembah dijumpai akumulasi aliran yang relatif tinggi, yang menunjukkan keberadaan sungai utama pada bagian hulu DAS. Temuan ini mengindikasikan bahwa distribusi akumulasi aliran sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi dan kemiringan lereng, dengan area yang relatif datar cenderung memiliki potensi akumulasi air lebih besar.



Gambar 4. a) Data pengolahan TWI dari data SRTM pada DAS sekitar Kota Denpasar, b) Data pengolahan TWI dari data ALOS PALSAR pada DAS sekitar Kota Denpasar

Nilai TWI yang terdapat di Kota Denpasar memiliki rentang nilai terendah pada rentang 3 hingga 4. Sedangkan nilai tertingginya berada pada rentang 14 hingga 23, pada Gambar 5. Data yang digunakan dalam penelitian berupa DEM dalam bentuk *Digital Surface Model* (DSM), sehingga tingkat kekasaran permukaan dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan. Sehingga, nilai TWI pada kelas sangat rendah dan rendah tidak hanya dipengaruhi oleh faktor topografi, tetapi juga oleh ketinggian objek penggunaan lahan, seperti bangunan. Untuk meminimalisir dan mengurangi bias faktor kekasaran tersebut, secara ideal perlu dilakukan konversi DSM ke DTM (*Digital Terrain Model*) agar diperoleh representasi permukaan tanah yang lebih akurat. Namun, konversi tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini karena keterbatasan data pendukung untuk proses filtrasi objek permukaan, khususnya pada konteks wilayah perkotaan. Selain itu, dalam konteks wilayah perkotaan, keberadaan bangunan dan infrastruktur permukaan turut memengaruhi pola aliran limpasan dan akumulasi air. Dengan demikian, penggunaan DSM masih dianggap representatif untuk menggambarkan kondisi permukaan aktual yang berkaitan dengan potensi genangan banjir.



Gambar 5. a) Data pengolahan TWI dari data SRTM Kota Denpasar, b) Data pengolahan TWI dari data ALOS PALSAR Kota Denpasar

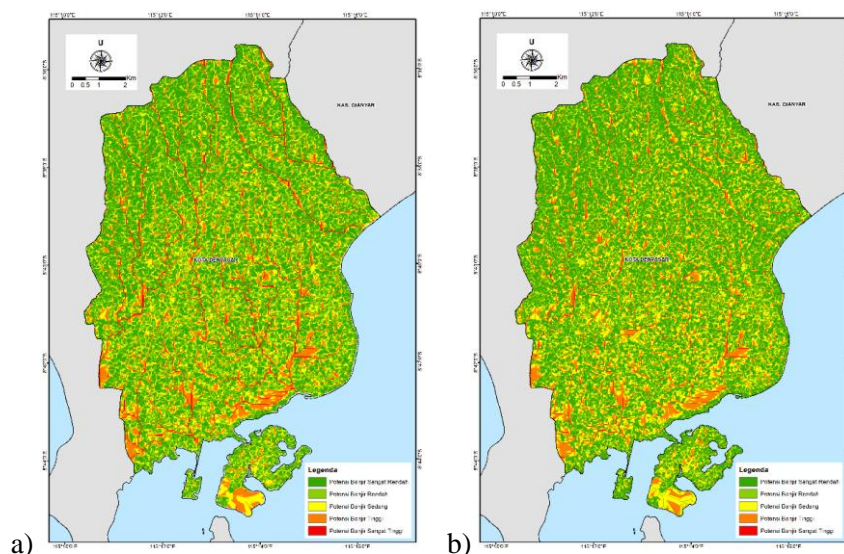
Perbedaan resolusi spasial antara data SRTM dan ALOS PALSAR berpengaruh terhadap luasan dan kemampuan validasi pemodelan banjir genangan di Kota Denpasar. Uji validasi dilakukan menggunakan kerangka *confusion matrix* berbasis kejadian antara peta kelas potensi TWI dan 33 titik kejadian genangan banjir. Dalam penelitian ini, kelas TWI tinggi dan sangat tinggi diasumsikan sebagai area dengan potensi genangan yang lebih besar. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa pada data ALOS PALSAR terdapat 10 titik kejadian banjir yang terklasifikasi pada potensi tinggi dan sangat tinggi, yang dikategorikan sebagai TP. Dengan jumlah data referensi sebanyak 33 titik kejadian banjir, diperoleh nilai sensitivitas sebesar 30,30%. Sementara pada data SRTM, terdapat 8 titik kejadian banjir yang termasuk kategori TP, sehingga menghasilkan nilai sensitivitas sebesar 24,24%, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Sensitivitas Menggunakan Data SRTM dan ALOS PALSAR

Model	True Positive (TP)	False Negative (FN)	Sensitivitas (%)
SRTM	8	25	24,24
ALOS PALSAR	10	23	30,30

Perbandingan nilai sensitivitas menunjukkan bahwa model TWI berbasis ALOS PALSAR memiliki kemampuan deteksi banjir lebih baik dibandingkan dengan SRTM, meskipun keduanya masih tergolong rendah. Kinerja ALOS PALSAR lebih tinggi karena dipengaruhi oleh resolusi spasial dan ketelitian vertikal yang lebih baik, sehingga mampu merepresentasikan mikro-topografi, seperti cekungan lokal dan jalur aliran secara lebih akurat. Selain itu, karakteristik sensor radar L-band memungkinkan penetrasi vegetasi yang lebih baik sehingga elevasi permukaan tanah lebih mendekati kondisi aktual dan meningkatkan akurasi parameter turunan hidrologi, sebagai komponen utama TWI [41, 42]. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kualitas dan resolusi DEM berpengaruh signifikan terhadap hasil indeks topografi dan pemodelan hidrologi [43].

Perbedaan performa tersebut menegaskan pentingnya pendekatan evaluasi kuantitatif dalam menilai kemampuan model. Berbeda dengan sebagian besar penelitian sebelumnya yang menggunakan TWI hanya dengan validasi sampel pada beberapa titik kejadian [10, 14, 20, 27], penelitian ini menerapkan uji sensitivitas sehingga kemampuan deteksi model dapat dinilai secara empiris. Hasil menunjukkan bahwa pemilihan sumber data topografi dan parameter klasifikasi berpengaruh terhadap akurasi pemetaan potensi genangan, yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. a) Peta potensi genangan Kota Denpasar dari data SRTM, b) Peta potensi genangan Kota Denpasar dari data ALOS PALSAR

Berdasarkan nilai persentase TP, model dengan sensitivitas tertinggi dipilih sebagai model terbaik di antara algoritma TWI berbasis SRTM dan ALOS PALSAR. Nilai sensitivitas ALOS PALSAR yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan deteksi genangan yang lebih baik, sehingga lebih mampu merepresentasikan variasi topografi pada skala mikro. Pada wilayah perkotaan, detail perubahan elevasi sangat menentukan pola aliran permukaan dan akumulasi limpasan. Oleh karena itu, perhitungan luasan potensi genangan banjir di Kota Denpasar selanjutnya menggunakan model TWI berbasis ALOS PALSAR. Hasil analisis menunjukkan bahwa luasan potensi genangan tinggi hingga sangat tinggi

mencapai 1.499,94 ha atau sekitar 12% dari total wilayah, dengan konsentrasi terbesar berada di Kecamatan Denpasar Selatan seluas 631,98 ha, yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kelas Potensi Genangan Banjir Kota Denpasar dengan Model TWI Berbasis Data ALOS PALSAR

Kecamatan	Potensi Banjir Sangat Rendah (ha)	Potensi Banjir Rendah (ha)	Potensi Banjir Sedang (ha)	Potensi Banjir Tinggi (ha)	Potensi Banjir Sangat Tinggi (ha)
Denpasar Barat	1.043,63	436,91	374,10	196,15	44,09
Denpasar Selatan	1.953,12	981,95	1148,88	631,98	92,17
Denpasar Timur	1.633,21	667,59	553,42	243,21	53,15
Denpasar Utara	1.413,61	524,98	358,46	189,82	49,37
Total Luas (Ha)	6.043,57	2.611,43	2.434,87	1.261,16	238,78

Berdasarkan hasil identifikasi potensi genangan, Kecamatan Denpasar Selatan merupakan hilir dari sembilan DAS yang melintasi Kota Denpasar sehingga menerima akumulasi limpasan lebih tinggi. Kondisi topografi yang relatif datar turut meningkatkan potensi genangan pada beberapa lokasi. Oleh karena itu, diperlukan rekomendasi untuk area dengan potensi banjir tinggi hingga sangat tinggi, baik secara teknis maupun tata ruang. Rekomendasi teknis dapat berupa pembangunan infrastruktur pengendali genangan, seperti peningkatan jaringan drainase, saluran pembuangan, dan kolam retensi. Rekomendasi berbasis kebijakan tata ruang dapat dilakukan dengan menerbitkan ketetapan sempadan sungai untuk memberi ruang apabila sungai melimpas. Selain itu, pada lokasi dengan potensi genangan tinggi hingga sangat tinggi, fungsi tata ruang dapat diarahkan menjadi kawasan resapan air atau ruang terbuka hijau.

Pemanfaatan data DEM melalui pendekatan TWI dalam penelitian ini menggunakan SRTM dan ALOS PALSAR sehingga memungkinkan perbandingan karakteristik dan akurasi model. Kinerja model masih berpotensi ditingkatkan melalui penambahan data validasi yang lebih beragam, tidak terbatas pada titik kejadian banjir. Penggunaan variasi data tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap kemampuan model TWI berbasis DEM SRTM dan ALOS PALSAR dalam mengidentifikasi potensi banjir genangan.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena belum membandingkan dengan DEM beresolusi lebih tinggi, seperti berbasis Sentinel-1 maupun DEM Nasional (DEMNAS) yang dikembangkan khusus untuk wilayah Indonesia. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengintegrasikan serta membandingkan multi-sumber DEM untuk mengevaluasi peningkatan ketelitian pemodelan [44]. Pendekatan tersebut diharapkan memperkuat dasar ilmiah pemetaan risiko banjir yang lebih adaptif terhadap dinamika perubahan iklim serta mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 11 dan SDG 13, melalui penyediaan informasi spasial yang semakin presisi bagi perencanaan wilayah dan mitigasi bencana.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan informasi sebaran area potensi genangan banjir di Kota Denpasar melalui algoritma TWI berbasis data DEM, sekaligus membandingkan kemampuan DEM dengan resolusi spasial berbeda dalam memetakan potensi genangan. Area dengan potensi genangan tinggi hingga

sangat tinggi terkonsentrasi pada wilayah bertopografi relatif datar dan bagian hilir DAS, dengan luas mencapai 1.499,94 ha atau 12% dari total wilayah Kota Denpasar. Hasil nilai sensitivitas (*recall*) menunjukkan bahwa DEM ALOS PALSAR dengan resolusi spasial 12,5 m memiliki tingkat kesesuaian lebih baik terhadap kejadian banjir aktual (30,30%) dibandingkan DEM SRTM resolusi 30 m (24,24%), sehingga lebih representatif untuk pemodelan genangan wilayah perkotaan. Peta potensi genangan yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai dasar penentuan zona prioritas pengendalian pemanfaatan ruang, perencanaan sistem drainase, serta evaluasi kawasan rawan banjir dalam dokumen RTRW dan RDTR. Meskipun demikian, peningkatan sensitivitas maupun akurasi masih diperlukan melalui penggunaan data elevasi beresolusi lebih tinggi serta integrasi variabel hidrologi tambahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurmalasari, C., Awaluddin, M., & Nugraha, A. L. (2023). Pemetaan Ancaman Bencana Banjir Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus : Kecamatan Siwalan, Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Geodesi Undip*, 12(3), 191–200.
- [2] Mataburu, I. B., Handawati, R., & Hijrawadi, S. N. (2022). Analisis Wilayah Rawan Banjir DAS Cimanuk Hulu Menggunakan Model Complete Mapping Analysis dan SIG. *Jurnal Georafflesia*, 7(2), 129–140.
- [3] Doswell, C. A. (2020). Flooding. https://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter8/Ency_Atmos/Flooding.pdf
- [4] Andewi, P. O., Saputra, K. A., Aryanto, K. Y. E., & Dewi, L. J. E. (2025). Integrasi Teknologi Penginderaan Jauh dan Machine Learning Pada WebGIS Untuk Pemetaan Potensi Banjir. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 22(1), 12–23. <https://doi.org/10.23887/jptkundiksha.v22i1.87455>
- [5] Putra, A. A. G. S. W., Dewi, N. L. P. M., Maharani, S. E., & Arimbawa, W. (2025). Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup Pada Kawasan Rawan Bencana Provinsi Bali. *Jurnal Ecocentrism*, 5(1), 52–61. <https://doi.org/10.36733/jeco.v5i1.11535>
- [6] Alexander, H. B. (2025). Alih Fungsi Lahan Disebut Penyebab Utama Banjir di Bali. Kompas.com. <https://www.kompas.com/properti/read/2025/09/15/080000921/alih-fungsi-lahan-disebut-penyebab-utama-banjir-di-bali>
- [7] Cahyono, B. E., Ikke, E., Putri, S., & Nugroho, A. T. (2022). Pemetaan Daerah Genangan Banjir dan Keterkaitan Dengan Penggunaan Lahan, Jenis Tanah dan Curah Hujan di Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal Ilmu Dasar*, 23(2), 93–100.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2015 Tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai. <https://peraturan.bpk.go.id>
- [9] Pangaribuan, J., Sabri, L. M., & Amarrohman, F. J. (2019). Analisa Daerah Rawan Bencana Longsor di Kabupaten Magelang Menggunakan Sistem Informasi Geografis Dengan Metode Standard Nasional Indonesia dan Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 288–297. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2019.22582>
- [10] Miardini, A., & Saragih, G. S. (2019). Penentuan Prioritas Penanganan Banjir Genangan Berdasarkan Tingkat Kerawanan Menggunakan Topographic Wetness Index: Studi Kasus DAS Solo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 113–119. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.113-119>
- [11] Gao, Y., Lili, Y., Chang, N. B., & Wang, D. (2021). Diagnosis Toward Predicting Mean Annual Runoff in Ungauged Basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(2), 945–956. <https://doi.org/10.5194/hess-25-945-2021>
- [12] Maina, F. Z., Wainwright, H. M., Denny-Frank, P. J., & Siirila-Woodburn, E. R. (2022). On The Similarity of Hillslope Hydrologic Function: A Clustering Approach Based on Groundwater

- Changes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(14), 3805–3823. <https://doi.org/10.5194/hess-26-3805-2022>
- [13] Budiarmo, A. S., & Momongan, A. J. (2023). Kajian Topographic Wetness Index Untuk Mengetahui Potensi Bahaya Banjir di Kota Manado. *Journal Geological Processes, Risk, and Integrated Spatial Modelling*, 1(1), 1–12.
- [14] Fitriansyah, H., Ajrina, F. I., Caesar, M. Y., Maulidya, H. A., & Mustika, T. (2025). Spatial Analysis for Prioritizing Flood Inundation Mitigation Using the Topographic Wetness Index: A Case Study of Pangkal Pinang City. *Electronic Journal of Education, Social Economics and Technology*, 6(2), 1–7. <https://doi.org/10.33122/ejeset.v6i2.826>
- [15] Pourali, S., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A. A., & Mitchell, D. (2016). Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 9(1), 39–54. <https://doi.org/10.1007/s12061-014-9130-2>
- [16] Bellerine, C. (2017). *Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support Will and DuPage Counties, Illinois*. University of Illinois.
- [17] Fatilda, I. K., Cahyawati, A., Saputra, D. H., Dewangga, F., Putra, A. C. P., Rakhmat, B., & Bayu, N. R. (2015). Pemetaan Potensi Kekeringan Menggunakan Topographic Wetness Index dan Tasseled Cap Landsat-8 di Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi IV*.
- [18] Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Identification of Flood-Prone Area Using The Topographic Wetness Index Method in Fena Leisela District, Buru Regency. *Journal Basic Science and Technology*, 12(1), 20–24.
- [19] Thannoun, R. G., & Ismaeel, O. A. (2024). Flood Risk Vulnerability Detection Based on The Developing Topographic Wetness Index Tool in Geographic Information System. *Proceedings: IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1300/1/012012>
- [20] Fitra, J., Debararaja, S. M. T., & Lismawaty. (2024). Identification of Flood Vulnerability Using the Topographic Wetness Index Method in Pantai Labu Baru Village, Deli Serdang, North Sumatera. *E3S Web of Conferences*, 483, 01014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448301014>
- [21] Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 58 Tahun 2021 Tentang Kode, Data Wilayah Administrasi Pemerintahan, dan Pulau. <https://peraturan.bpk.go.id>
- [22] Munthe, M., Arif, N., & Sumunar, D. R. S. (2025). Pemetaan Potensi Genangan Banjir Berdasarkan Topographic Wetness Index di Daerah Aliran Sungai Barumun Bilah. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 8(2), 183–200. <https://doi.org/10.59465/jppdas.2024.8.2.183-200>
- [23] Masoud, A. (2026). GEE-HydroMonitor: A Google Earth Engine Software for Multi-Sensor Hydrometric Monitoring of Surface Reservoirs. *Environmental Modelling and Software*, 195, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106761>
- [24] Almagro, A., Oliveira, P. T. S., Neto, A. A. M., Roy, T., & Troch, P. A. (2021). CABra: A Novel Large-Sample Dataset for Brazilian Catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(6), 3105–3135. <https://doi.org/10.5194/hess-25-3105-2021>
- [25] Jafarzadegan, K., Abbaszadeh, P., & Moradkhani, H. (2021). Sequential Data Assimilation for Real-Time Probabilistic Flood Inundation Mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(9), 4995–5011. <https://doi.org/10.5194/hess-25-4995-2021>
- [26] Beven, K., & Kirkby, M. J. (1979). A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, 24, 43–69.

- [27] Nucifera, F., & Putro, S. T. (2017). Deteksi Kerawanan Banjir Genangan Menggunakan Topographic Wetness Index. *Media Komunikasi Geografi*, 18(2), 107–116. <https://doi.org/10.23887/mkg.v18i2.12088>
- [28] Sorensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On The Calculation of The Topographic Wetness Index: Evaluation of Difference Methods Based on Field Observation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 101–112. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>
- [29] Qin, C. Z., Zhu, A. X., Pei, T., Li, B. L., Scholten, T., Behrens, T., & Zhou, C. H. (2011). An Approach to Contributing Topographic Wetness Index Based on Maximum Downslope Gradient. *Presicion Agric.*, 5, 32–43. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9152-y>
- [30] Halabisky, M., Miller, D., Stewart, A. J., Yahnke, A., Lorigan, D., Brasel, T., & Moskal, L. M. (2023). The Wetland Intrinsic Potential Tool: Mapping Wetland Intrinsic Potential Through Machine Learning of Multi-Scale Remote Sensing Proxies of Wetland Indicators. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(20), 3687–3699. <https://doi.org/10.5194/hess-27-3687-2023>
- [31] Larson, J., Lidberg, W., Ågren, A. M., & Laudon, H. (2022). Predicting Soil Moisture Conditions Across a Heterogeneous Boreal Catchment Using Terrain Indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(19), 4837–4851. <https://doi.org/10.5194/hess-26-4837-2022>
- [32] Güntner, A., Seibert, J., & Uhlenbrook, S. (2004). Modeling Spatial Patterns of Saturated Areas: An Evaluation of Different Terrain Indices. *Journal of Water Resource*. <https://doi.org/10.1029/2003WR002864>
- [33] Hojati, M., & Mokarram, M. (2016). Determination of a Topographic Wetness Index Using High Resolution Digital Elevation Models. *European Journal of Geography*, 7(4), 41–52.
- [34] Zhou, L., Kori, D. S., Sibanda, M., & Nhundu, K. (2022). An Analysis of the Differences in Vulnerability to Climate Change: A Review of Rural and Urban Areas in South Africa. *Climate*, 10(8), 118. <https://doi.org/10.3390/cli10080118>
- [35] O’Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28, 323–344. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0)
- [36] Horn, B. K. (1981). Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1), 14–47. <https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11918>
- [37] Ma’rufah, W., Ridwan, & Amin, M. (2024). Deteksi Kerawanan Banjir Genangan Menggunakan TWI Di Sub DAS Way Katibung. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 3(2), 238. <https://doi.org/10.23960/jabe.v3i2.9435>
- [38] Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices (3rd ed.)*. CRC Press.
- [39] Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37–63.
- [40] Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427–437.
- [41] Julzarika, A., & Dewi, E. K. (2018). Uji Akurasi Vertikal DTM ALOS PALSAR Terhadap Pengukuran Kombinasi DGNSS-Altimeter. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital*, 15(1), 11–24. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2018.v15.a2804>
- [42] Tarekegn, T. H., Haile, A. T., & Rientjes, T. H. M. (2010). Assessment of an ASTER-generated DEM for 2D hydrodynamic flood modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(6), 457–465.
- [43] Jiang, W., Yu, J., Wang, Q., & Yue, Q. (2022). Understanding the effects of digital elevation model resolution and building treatment for urban flood modelling. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101122>

- [44] Li, J., Zhang, T., Shao, Y., & Ju, Z. (2023). Comparing Machine Learning Algorithms for Soil Salinity Mapping Using Topographic Factors and Sentinel-1/2 Data: A Case Study in the Yellow River Delta of China. *Remote Sensing*, 15(9), 2332. <https://doi.org/10.3390/rs15092332>