

# Pemantauan Batas Wilayah Berdasarkan Klasifikasi Bentuk Lahan Menggunakan Metode *Topographic Position Index*

Amelia Fauzana<sup>1</sup>, Naufal Setiawan<sup>2\*</sup>

Program Studi Teknik Geomatika, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

\* Email koresponden: [naufal.setiawan@upnyk.ac.id](mailto:naufal.setiawan@upnyk.ac.id)

Submitted: 2024-05-06 Revisions: 2024-12-06 Accepted: 2025-02-15 Published: 2025-02-19

©2025 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

©2025 by the authors and Majalah Geografi Indonesia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY SA) <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

**Abstrak.** Berkaitan dengan konteks batas intra-nasional, batas intra-nasional memerlukan perhatian khusus dalam pemeliharaan dan pemantauan garis batas, sebagaimana diatur dalam teori boundary making yang mencakup alokasi, delimitasi, demarkasi, dokumentasi, dan pemeliharaan. Namun, di Indonesia belum ada aturan spesifik yang mengatur pemantauan garis batas setelah penetapan, sebagaimana disebutkan dalam Permendagri No. 141 Tahun 2017 tentang batas daerah yang hanya mengatur mekanisme dan kaidah penarikan garis batas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi metode *Topographic Position Index* (TPI) dalam mendukung pemeliharaan batas administratif pada skala batas kabupaten menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM) dengan resolusi berbeda, yaitu ALOS AW3D, SRTM V3 Global 1-arcsecond, dan DEMNAS serta untuk mengidentifikasi DEM, metode, dan pendekatan yang tepat. Analisis dilakukan pada segmen batas Kabupaten Magelang–Kabupaten Purworejo dan Kabupaten Magelang–Kabupaten Wonosobo dengan dua *Area of Interest* (AoI) berbeda berdasarkan luas wilayah dan variasi elevasinya. TPI digunakan untuk mengklasifikasikan bentuk lahan ke dalam 10 kategori berdasarkan nilai topografi dari neighborhood kecil dan besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiga kelas utama, yaitu *canyons*, *deeply incised streams*, *mountain tops*, *high ridges*, dan *local ridges*, *hills in valleys*, mendominasi peta klasifikasi dengan lebih dari 20% pada setiap kelas. Uji kesesuaian peta terhadap unsur geografis menunjukkan akurasi lebih dari 89% pada ketiga DEM, meskipun resolusi masing-masing berbeda. Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa metode TPI mampu memetakan dan memantau garis batas administratif secara kartometrik tanpa memerlukan survei lapangan langsung, sehingga sangat relevan untuk wilayah dengan akses terbatas atau variasi elevasi yang kompleks. Dengan demikian, TPI menawarkan manfaat signifikan dalam mendukung pemeliharaan dan pemantauan batas administratif pada batas alam, serta dapat menjadi solusi praktis dalam mengatasi keterbatasan regulasi terkait pemantauan garis batas di Indonesia.

**Kata kunci:** *Digital Elevation Model*; *Topographic Position Index*; Bentuk Lahan; Batas Administrasi; dan Batas Alam.

**Abstract.** In the context of intra-national boundaries, special attention is required for the maintenance and monitoring of boundary lines, as outlined in the boundary making theory, which includes allocation, delimitation, demarcation, documentation, and maintenance. However, in Indonesia, there is no specific regulation governing the monitoring of boundary lines after their establishment, as mentioned in Permendagri No. 141 of 2017 concerning regional boundaries, which only regulates the mechanisms and principles for drawing boundary lines. This study aims to explore the potential of the *Topographic Position Index* (TPI) method in supporting the maintenance of administrative boundaries at the district scale using *Digital Elevation Models* (DEMs) with different resolutions, namely ALOS AW3D, SRTM V3 Global 1-arcsecond, and DEMNAS, as well as to identify the appropriate DEM, method, and approach. The analysis was conducted on boundary segments between Magelang Regency–Purworejo Regency and Magelang Regency–Wonosobo Regency with two different *Areas of Interest* (AoIs) based on area size and elevation variations. TPI was used to classify landforms into 10 categories based on topographic values from both small and large neighborhoods. The results show that three main classes, namely *canyons*, *deeply incised streams*, *mountain tops*, *high ridges*, and *local ridges*, *hills in valleys*, dominate the classification map with over 20% in each class. The accuracy test of the classification map against geographical features showed more than 89% accuracy for all three DEMs, despite their different resolutions. The main finding of this study shows that the TPI method is capable of mapping and monitoring administrative boundaries cartometrically without the need for direct field surveys, making it highly relevant for areas with limited access or complex elevation variations. Thus, TPI offers significant benefits in supporting the maintenance and monitoring of administrative boundaries, particularly natural boundaries, and can be a practical solution in addressing regulatory limitations related to boundary monitoring in Indonesia.

**Keywords:** *Digital Elevation Model*; *Topographic Position Index*; Landform; Administrative Boundary; and The Natural Boundary.

## PENDAHULUAN

Berkaitan dengan konteks batas intra-nasional, teori *boundary making* pada dasarnya terdiri dari alokasi, delimitasi, dan demarkasi. Saat ini teori *boundary making* terus berkembang, salah satunya pada penelitian yang dilakukan oleh Pinther *et al.*, (2013). Penelitian tersebut

menambahkan tahapan dokumentasi dan pemeliharaan batas yang didalamnya termasuk pemantauan garis batas. Namun, di Indonesia belum terdapat aturan spesifik baik secara teknis maupun non-teknis yang mengatur perihal pemantauan batas daerah (Hidayat *et al.*, 2021). Pemantauan garis batas menjadi penting karena batas berdasarkan jenis unsur geografisnya

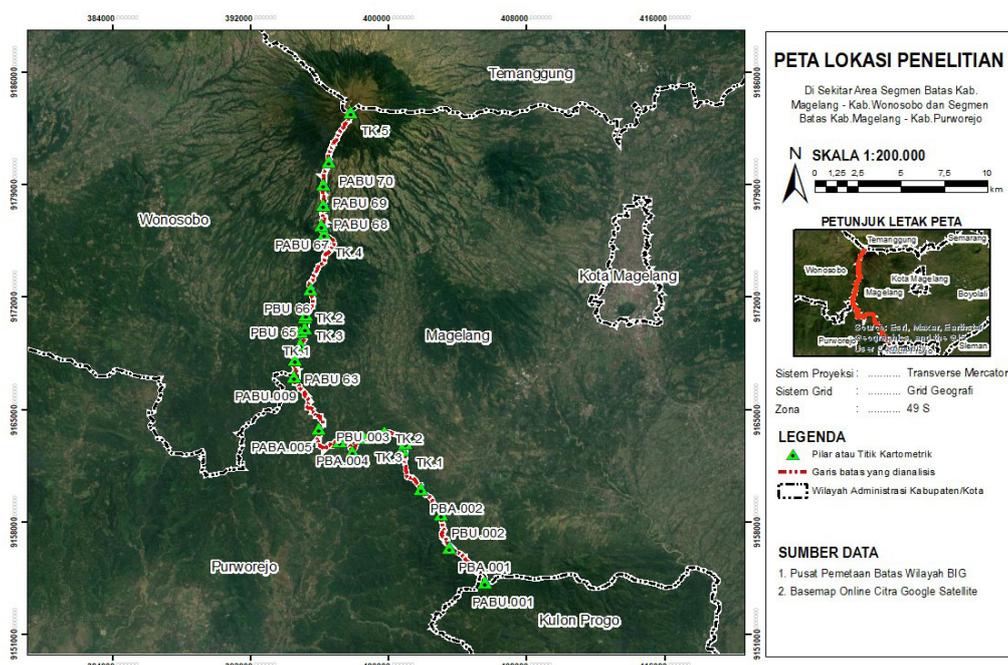
terbagi menjadi batas alam dan batas buatan. Pemilihan unsur geografi berupa batas alam seringkali memicu perdebatan karena kondisi topografi maupun hal-hal lainnya yang dapat berubah sewaktu-waktu (Pinther *et al.*, 2013).

Lingkup batas alam biasanya memiliki area dengan ketinggian topografi yang variatif, seperti pada area berbukit (Wibowo *et al.*, 2019). Area tersebut memiliki aksesibilitas yang cukup susah untuk dijamah manusia sehingga perlu adanya pendekatan dengan teknologi penginderaan jauh untuk merepresentasikan keadaan di lapangan. Salah satu data yang dapat digunakan adalah data *Digital Elevation Model* (DEM) yang realis dapat mengidentifikasi *terrain* (Polidori & Hage, 2020). Data ini memiliki keunggulan dalam merepresentasikan bentuk lahan yang sulit diidentifikasi berdasarkan data planimetrik (x, y) saja, seperti data citra (Zufrimar and Zainal, 2023). Hal tersebut, selaras dengan Peraturan Kementerian Dalam Negeri (Permendagri) Nomor 141 Tahun 2017 tentang Penegasan Batas Daerah (Kemendagri, 2017) yang menjelaskan kaidah penarikan garis batas alam seperti igir bukit, sungai, dan lain-lain menggunakan metode kartometrik dengan data DEM. Penggunaan data DEM semakin meningkat di era perkembangan teknologi yang berkembang pesat (Hidayat *et al.*, 2016), terlebih lagi untuk kepentingan batas wilayah. Berbagai DEM dapat digunakan seperti data DEM Nasional (DEMNAS) yang memiliki resolusi 8,25 m. Meskipun DEMNAS memiliki resolusi yang cukup tinggi dibandingkan dengan DEM Global seperti SRTM V3 Global 1-arcsecond dan *Advanced Land Observing Satellite - World 3D* (ALOS AW3D) yang memiliki resolusi sebesar 30 meter tetapi DEMNAS merupakan gabungan dari berbagai jenis data.

Dalam konteks batas alam, biasanya data yang digunakan untuk identifikasi adalah data yang disajikan pada Peta Rupabumi Indonesia (RBI), seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayat, *et al.*, (2021). Meskipun peta RBI sudah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) tetapi data tersebut masih perlu banyak penyesuaian karena diakuisisi dari tahun 2000 (Susetyo *et al.*, 2017). Alternatif yang dapat

digunakan untuk menganalisis unsur geografi adalah dari bentuk lahan yang dapat diekstraksi menggunakan metode *Topographic Position Index* (TPI) (Trentin and Robaina, 2018) (Sutanta and Tiera, 2019). Metode TPI digunakan untuk menganalisis suatu ketinggian topografi dan sering diaplikasikan dalam bidang geomorfologi, seperti bentuk lahan, klasifikasi objek, cekungan, dan lain-lain (Bufalini *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil analisis TPI ini dapat dijadikan parameter untuk analisis lebih lanjut, seperti untuk mengetahui bentuk lahan yang dikombinasikan dari nilai TPI skala besar dan kecil (Al-husban, 2019). Berdasarkan penelitian (Weiss, 2001) dikelaskan menjadi 10 bentuk lahan. Pendekatan otomatis menggunakan TPI diharapkan dapat memberikan pemetaan bentuk lahan yang lebih akurat dan efisien (Muddarisna *et al.*, 2020) sehingga dapat mempermudah kebutuhan pekerjaan batas wilayah.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini berfokus pada pemantauan batas wilayah berdasarkan klasifikasi bentuk lahan pada data *Advanced Land Observing Satellite ALOS World 3D* (ALOS AW3D), *Shuttle Radar Topography Mission V3 Global* (SRTM V3 Global), dan DEM Nasional (DEMNAS) menggunakan metode *Topographic Position Index*. Hal ini perlu dilakukan karena metode TPI untuk klasifikasi bentuk lahan pada batas wilayah belum pernah digunakan di penelitian-penelitian sebelumnya khususnya pada batas alam, seperti igir, bukit, dan lembah. Namun, dalam penelitian (Apriyeni *et al.*, 2022) menjelaskan bahwa TPI dapat dilakukan untuk interpretasi *landform* di Pulau Lombok dengan menghasilkan 10 kelas bentuk lahan yang dapat merepresentasikan unsur geografi, seperti igir, lembah, dan bukit pada batas wilayah. Hal ini, selaras dengan kebutuhan delineasi batas daerah khususnya batas alam yang sesuai dengan (Kemendagri, 2017) tentang batas daerah. Selain itu, pada penelitian ini dikaji DEM terbaik dan dapat digunakan dalam pemantauan batas wilayah kabupaten yang memiliki skala 1:50.000. Kemudian, dengan penelitian ini penulis menguji metode TPI pada garis batas kabupaten yang merupakan garis batas *existing* hasil kesepakatan teknis (Kemendagri, 2013).



Gambar 1. Lokasi penelitian segmen garis batas Kabupaten Magelang - Kabupaten Purworejo hingga Kabupaten Magelang - Kabupaten Wonosobo

## METODE PENELITIAN

### Area Studi

Penelitian ini difokuskan pada area segmen batas administratif antara Kabupaten Magelang dan Kabupaten Wonosobo hingga Kabupaten Magelang dan Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik wilayahnya, di mana 82% batas administratifnya menggunakan penanda batas alam dengan elevasi yang beragam. Daerah penelitian berada di kawasan strategis yang dikelilingi oleh tiga gunungapi kuarter, yaitu Gunung Merapi, Gunung Merbabu, dan Gunung Sumbing. Wilayah ini juga mencakup empat satuan morfologi utama, yaitu Puncak Gunung, Lereng Gunung, Kaki Lereng, dan Perbukitan Bergelombang (Dinas ESDM, 2022). Kombinasi faktor-faktor ini menjadikan lokasi tersebut ideal untuk penelitian yang berfokus pada keterkaitan antara bentuk lahan dan batas wilayah administratif.

### Alur Penelitian

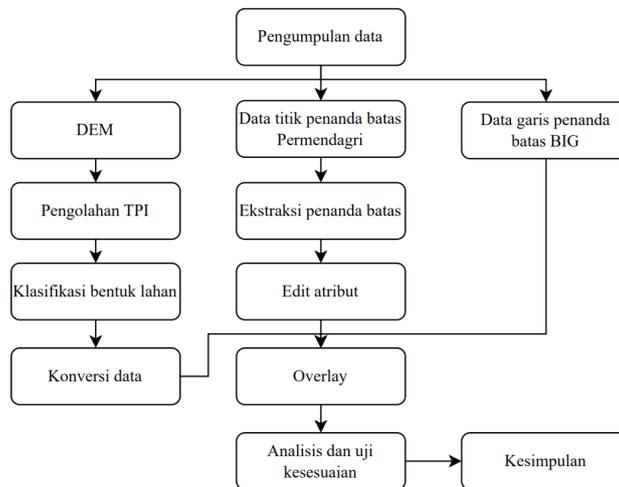
Penelitian ini dilakukan melalui tahapan berkesinambungan, dimulai dengan pengumpulan data spasial dan non-spasial sebagai dasar penelitian. Data diolah menggunakan metode TPI, klasifikasi bentuk lahan, dan ekstraksi penanda batas untuk menghasilkan informasi terstruktur. Selanjutnya, analisis dan uji kesesuaian dilakukan untuk menilai validitas penelitian, dengan hasil yang

menggambarkan keterkaitan antara bentuk lahan dan batas wilayah administrasi. Alur tahapan ini dijelaskan secara sistematis pada **Gambar 2** dan poin-poin berikutnya.

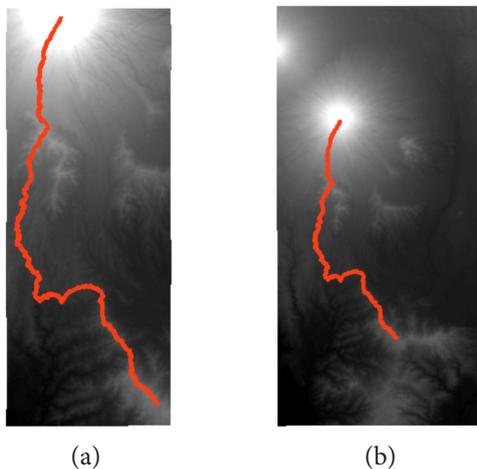
### Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, terdapat bahan yang diperlukan untuk melakukan pengolahan. Bahan yang digunakan berupa data sekunder berupa *Digital Elevation Model* (DEM) yang diunduh pada laman resmi instansi pemetaan. Data citra model elevasi tersebut digunakan sebagai data dasar pembuatan peta bentuk lahan dengan menggunakan metode *Topographic Position Index* adalah 1) Citra SRTM V3 Global 1 *arc-second* resolusi spasial 30 m yang diunduh melalui *website* United States Geological Survey (USGS, 2018) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>); 2) Citra ALOS AW3D resolusi 30 m yang diunduh melalui *website* Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA, 2024) ([https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30\\_e.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm)); dan 3) Citra DEMNAS 0,27 *arc-second* resolusi 8,25 meter yang diunduh melalui *website* Badan Informasi Geospasial (BIG, 2018) (<https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>).

Dari ketiga jenis DEM yang berbeda, pada penelitian ini penulis menggunakan dua pendekatan luas yang berbeda, yaitu Area of Interest (AoI) 1 sebesar 378,375 km<sup>2</sup> dan AoI 2 sebesar 1.519,868 km<sup>2</sup>, seperti yang tertera pada **Gambar 3** yang dilengkapi garis merah berupa garis batas kabupaten



Gambar 2. Alur penelitian



Gambar 3. Perbedaan AOI 1 dan AOI 2 (a) AOI 1 dengan luas 378,375 km<sup>2</sup>; (b) AOI 2 dengan luas 1.519,868 km<sup>2</sup>

yang diteliti. Hal ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rentang variasi nilai elevasi, seperti yang tertera pada **Tabel 1** dan luas yang berbeda untuk terhadap bentuk lahan yang dihasilkan. Hal ini dilakukan karena garis batas yang dikaji memiliki karakteristik spasial yang dipengaruhi oleh faktor topografi dan bentuk lahan yang dapat dipahami secara utuh dengan mempertimbangkan luasnya. Selain itu, hal ini juga untuk mengetahui pengaruh luas AoI yang berbeda terhadap bentuk lahan dari hasil pengolahan TPI.

Selain itu, data vektor yang digunakan dalam penelitian ini adalah data shapefile (.shp) pada segmen batas Kabupaten Magelang – Kabupaten Wonosobo dan Kabupaten Magelang – Kabupaten Purworejo. Data vektor ini diperoleh dari Pusat Pemetaan Batas Wilayah (PPBW), Badan Informasi Geospasial (BIG), yang telah disahkan atau berstatus definitif. Meskipun data tersebut sudah bersifat definitif, kajian ulang dilakukan karena di Indonesia, sebagaimana tercantum dalam Permendagri No. 141 Tahun 2017 tentang Batas Daerah, belum ada aturan khusus mengenai pemantauan garis batas setelah penetapan. Fungsi data definitif dalam penelitian ini adalah sebagai referensi yang sah untuk uji kesesuaian antara batas administratif yang telah ditetapkan dengan hasil analisis menggunakan metode TPI. Uji kesesuaian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi mengenai metode pemantauan garis batas yang efektif, khususnya pada batas alam.

**Pengolahan Data**

**a. Topographic Position Index dan Klasifikasi Bentuk Lahan**

Pengolahan TPI ditujukan untuk seluruh DEM yang diteliti, yakni ALOS AW3D, SRTM 1 *arc-second*, dan DEMNAS dengan tujuan mengetahui perbedaan rentang nilai TPI dan tingkat kedetilan visualisasinya. Prinsip kerja metode ini dengan memperhatikan perbedaan antara nilai elevasi piksel pusat dan elevasi rata-rata di lingkungan sekitar piksel tersebut. Nilai elevasi di lingkungan sekitar diperoleh dari nilai radius pada parameter yang diinput. Berikut rumus yang digunakan dalam analisis TPI dimana rumus (1) digunakan

untuk skala kecil sedangkan rumus (2) digunakan untuk skala besar (Weiss, 2001).

$$TPI300 = int((dem - focalmean(dem, annulus, 5, 10)) + 0.5) \quad (1)$$

$$TPI2.000 = int((dem - focalmean(dem, annulus, 62, 67)) + 0.5) \quad (2)$$

Dalam penelitian ini penulis membandingkan hasil pengolahan TPI berdasarkan *Digital Elevation Model* (DEM) yang berbeda, ukuran lingkungan di sekitar (*neighborhood size*), dan dari luas area yang berbeda. Perbandingan dari DEM, yaitu dengan menggunakan data ALOS AW 3D (resolusi spasial 30 m), SRTM V3 Global 1 *arc-second* (resolusi spasial 30 m), dan DEMNAS (resolusi spasial 8,25 m). Alasan membandingkan ketiga DEM tersebut disebabkan oleh DEM yang dimiliki Indonesia berupa data DEMNAS merupakan suatu gabungan dari data *Inter-ferometric Synthetic Aperture Radar* (IFSAR), *Terra Synthetic Aperture Radar* (TERRASAR-X), dan *Advanced Land Observing Satellite Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (ALOS PALSAR) (BIG, 2018), akuisisi data tidak secara langsung dilakukan oleh instansi pemerintah Indonesia. Oleh karena itu, dalam penggunaan pemetaan skala besar seperti batas wilayah kabupaten ini, perlu adanya pengkajian terhadap DEM yang memiliki nilai resolusi berbeda agar menganalisis lebih lanjut pengaruh resolusi DEM terhadap nilai TPI yang dihasilkan.

Pada tahap ini penulis melakukan pengolahan dengan menggunakan *software* ArcMap 10.8 dengan *extension tools Topographic Position Index* yang diunduh melalui laman ArcGIS Code Sharing yang sebelumnya telah dilakukan pada penelitian (Reuter & Nelson, 2009). **Gambar 2** menunjukkan alur penelitian yang diawali dengan *masking* data DEM sesuai dengan area penelitian. Kemudian menginput masing-masing DEM yang akan diteliti. Selanjutnya mengatur jenis rekonstruksi DEM dengan mengubahnya menjadi tipe Annulus. Pada tipe Annulus, penulis menginput nilai *inner radius* dan *outer radius* seperti yang tercantum pada **Tabel 2**. Hal ini perlu dilakukan untuk melihat pengaruh parameter yang di-*input*-kan terhadap hasil pengolahan TPI. Selain itu, pada proses selanjutnya, yaitu *landform classification* akan menjadi kombinasi dari TPI 300 (*smaller*) dengan TPI 2.000 (*larger*) dalam menganalisis bentuk lahan.

Tabel 1. Rincian rentang nilai elevasi pada masing-masing DEM dan Jenis AOI

Citra	AOI 1		AOI 2		Selisih	
	Elevasi Max (m)	Elevasi Min (m)	Elevasi Max (m)	Elevasi Min (m)	Elevasi Max (m)	Elevasi Min (m)
ALOS	3.352	104	3.352	12	0	92
SRTM	3.338	103	3.321	27	17	76
DEMNAS	3.313	98	3.314	17	1	81

Tabel 2. Nilai parameter *smaller* dan *larger* Topographic Position Index

SKALA	ALOS (30 m)		SRTM (30 m)		DEMNAS (8,25 m)	
	Inner Radius	Outer Radius	Inner Radius	Outer Radius	Inner Radius	Outer Radius
TPI 300 Annulus ( <i>Smaller</i> )	5 cell	10 cell	5 cell	10 cell	5 cell	10 cell
TPI 2.000 Annulus ( <i>Larger</i> )	62 cell	67 cell	62 cell	67 cell	62 cell	67 cell

Pengolahan *landform classification* ini dilakukan berdasarkan hasil pengolahan TPI sebelumnya. Kemudian secara otomatis dikelaskan menjadi 10 kelas bentuk lahan (Jennes, 2006). Pada tahapan ini, penulis melakukan pengolahan pada *software* ArcMap 10.8 yang telah dilengkapi *extention tools landform classification*. Pengolahan ini diawali dengan menginput data citra dengan mengkombinasikan parameter *smaller* dan *larger* pada masing-masing AOI. Kemudian dari hasil tersebut dikombinasikan untuk mengetahui hasil klasifikasi bentuk lahan. *Output* dari pengolahan ini adalah peta klasifikasi bentuklahan dari data DEM ALOS, SRTM, dan DEMNAS pada masing-masing AOI.

#### b. Ekstraksi Penanda Batas

Tahapan ekstraksi penanda batas dilakukan untuk mengetahui titik-titik acuan batas yang terdapat pada area penelitian. Ekstraksi ini dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel untuk mengelola informasi dari Permendagri Nomor 8 Tahun 2013 Tentang Batas Daerah Kabupaten Magelang Dengan Kabupaten Wonosobo Provinsi Jawa Tengah dan Permendagri Nomor 15 Tahun 2013 Tentang Batas Daerah Kabupaten Magelang Dengan Kabupaten Purworejo Provinsi Jawa Tengah. Kemudian dari data tersebut di-*import* ke dalam *software* ArcMap 10.8 untuk mengetahui posisi dari penanda batas. Pilar merupakan salah satu jenis penanda batas yang bentuk fisiknya ada di lapangan. Pilar ini memiliki beberapa jenis, yaitu Pilar Acuan Batas Utama (PABU), Pilar Batas Utama (PBU), dan Pilar Acuan Batas Antara (PABA) (Kemendagri, 2013). Sedangkan titik kartometrik merupakan penanda batas yang tidak memiliki bentuk fisik di lapangan atau hanya secara digital (Kemendagri, 2013).

#### Analisis Data dan Uji Kesesuaian

Pada tahap uji kesesuaian dengan segmen garis batas kabupaten dilakukan analisis kesesuaian bentuk lahan dengan segmen garis kabupaten area yang diteliti. Hasil klasifikasi bentuk lahan dengan metode TPI yang merupakan data raster dikonversi menjadi data vektor (*polygon*) berformat *shapefile*. Kemudian melakukan *overlay* dengan *tools Identity*. Vektor garis batas kabupaten berformat *shapefile* dikategorikan sebagai *input features*, sedangkan *landform classification* berformat *shapefile* dikategorikan sebagai *identity features*. Tahapan ini digunakan untuk menganalisis perpotongan geometri *input features* dan *identity features* sehingga input features akan mendapatkan informasi atribut berdasarkan *identity features*.

Hasilnya berupa 6 (enam) garis dengan informasi atribut dari masing-masing peta *landform classification*.

Selanjutnya, setelah dilakukan pemrosesan tumpang susun (*overlay*) maka data atribut yang sudah terintegrasi di-*export* ke Microsoft Excel. Tahapan ini dilakukan untuk menganalisis kesesuaian peta *landform* yang dihasilkan dengan unsur geografi yang tercantum pada garis batas. Berdasarkan 10 kelas *landform* (Weiss, 2001) yang dihasilkan dari proses klasifikasi. Kemudian, dianalisis berdasarkan posisi bentuk lahan yang didukung dari studi literatur gambar bentuk-bentuk lahan. Hasilnya berupa total panjang garis yang sesuai dan tidak sesuai serta presentase kesesuaian *landform* yang dilewati garis batas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Topographic Position Index Untuk Klasifikasi Bentuk Lahan

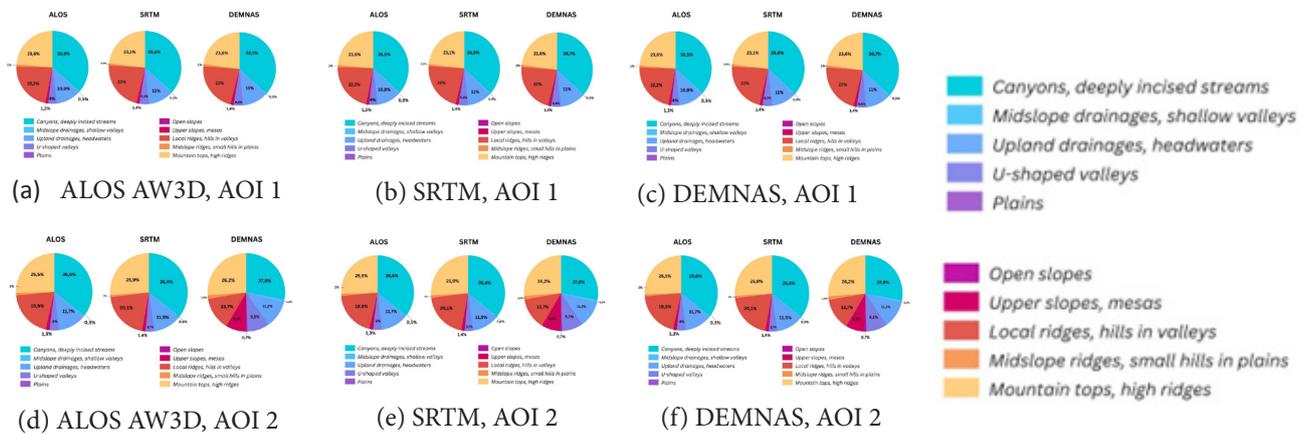
Berdasarkan hasil klasifikasi bentuk lahan dengan menggunakan *Topographic Position Index* menghasilkan nilai indeks topografi dengan rentang yang tercantum pada **Tabel 3**. Nilai indeks topografi tersebut, terdapat nilai positif yang menunjukkan topografi berada di area yang relatif tinggi. Selain itu, untuk nilai negatif menunjukkan posisi topografi berada di area rendah (Sutanto *et al*, 2017).

Pada AOI 1, dari ketiga sumber data DEM berbeda yang tercantum pada diagram lingkaran **Gambar 5** menunjukkan sebagian besar berada pada bentuk lahan yang lembah. Pada data ALOS kelas *Canyons, deeply incised streams* memiliki luas sebesar 138,919 km<sup>2</sup>, yaitu dengan presentase sebesar 36,5%. Artinya, posisi *Canyons, deeply incised streams* memiliki nilai TPI 300 dan TPI 2.000 negatif sehingga visualisasinya dapat merepresentasikan bentuk lahan yang berada di posisi kanyon atau berada di aliran sungai yang paling dalam. Selanjutnya luasan tertinggi kedua pada nilai 23,6% seluas 89,845 km<sup>2</sup>, yaitu kelas *Mountain top, high ridge*. Hal ini dipengaruhi oleh nilai TPI 300 dan TPI 2.000 positif sehingga menunjukkan posisi bentuklahan yang paling tinggi di puncak gunung atau punggung bukit. Selain itu, terdapat kelas dengan luasan yang paling kecil sebesar 0,02 % seluas 0,0890 km<sup>2</sup> di posisi *plains* atau datar. Artinya, nilai TPI 300 dan TPI 2.000 berada di sekitar nilai 0 jadi posisi topografi pada AOI 1 hanya menunjukkan sedikit area yang memiliki topografi yang benar-benar datar.

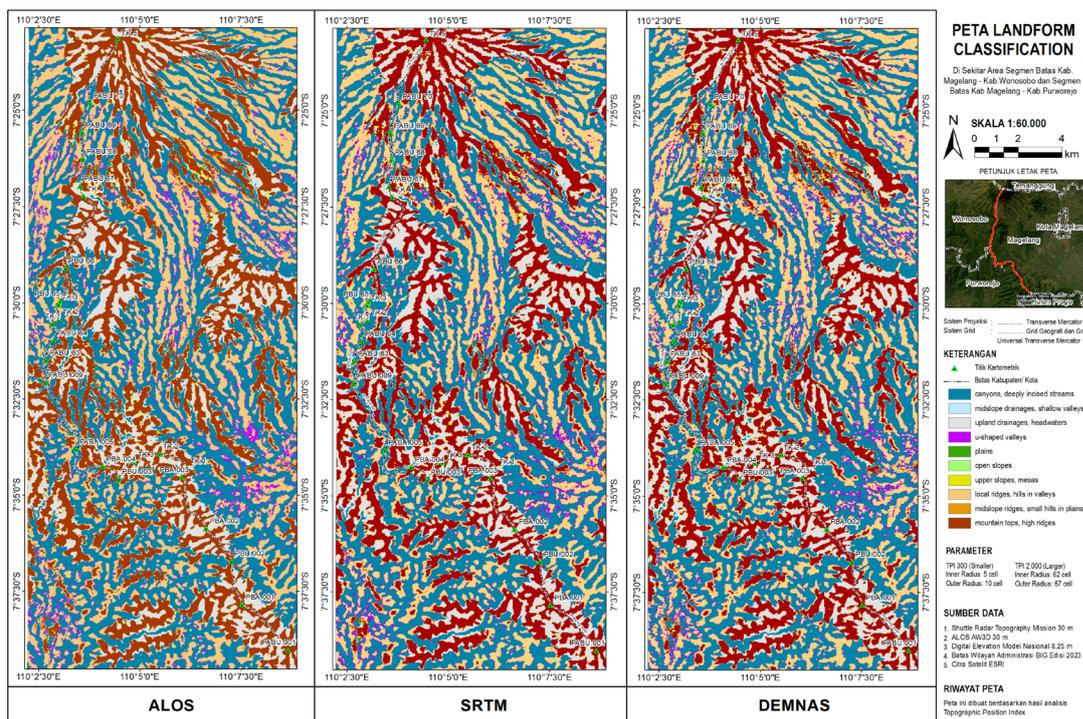
Pada AOI 2, dari ketiga sumber data DEM berbeda yang tercantum pada **Gambar 5** menunjukkan sebagian besar berada pada bentuk lahan lembah. Pada data ALOS memiliki

Tabel 3. Rentang nilai *Topographic Position Index* dari parameter *smaller* dan *larger neighborhood size* masing-masing AOI

DEM	AOI 1		AOI 2		Selisih	
	TPI Maksimal	TPI Minimal	TPI Maksimal	TPI Minimal	TPI Maksimal	TPI Minimal
ALOS ( <i>Smaller</i> )	131,351	-130,161	131,351	-130,161	0,00	0,00
SRTM ( <i>Smaller</i> )	126,427	-137,52	128,427	-121,911	2,00	15,61
DEMNAS ( <i>Smaller</i> )	101,931	-95,8923	27,2339	-26,0484	74,70	69,84
ALOS ( <i>Larger</i> )	991,384	-386,887	917,034	-250,176	74,35	136,711
SRTM ( <i>Larger</i> )	983,529	-391,502	893,279	-243,111	90,25	148,391
DEMNAS ( <i>Larger</i> )	960,861	-385,580	212,270	-129,076	748,591	256,504



Gambar 5. Presentase luas klasifikasi bentuk lahan pada masing-masing data dan pendekatan



Gambar 6. Hasil klasifikasi bentuk lahan AoI 1 pada masing-masing data dan pendekatan

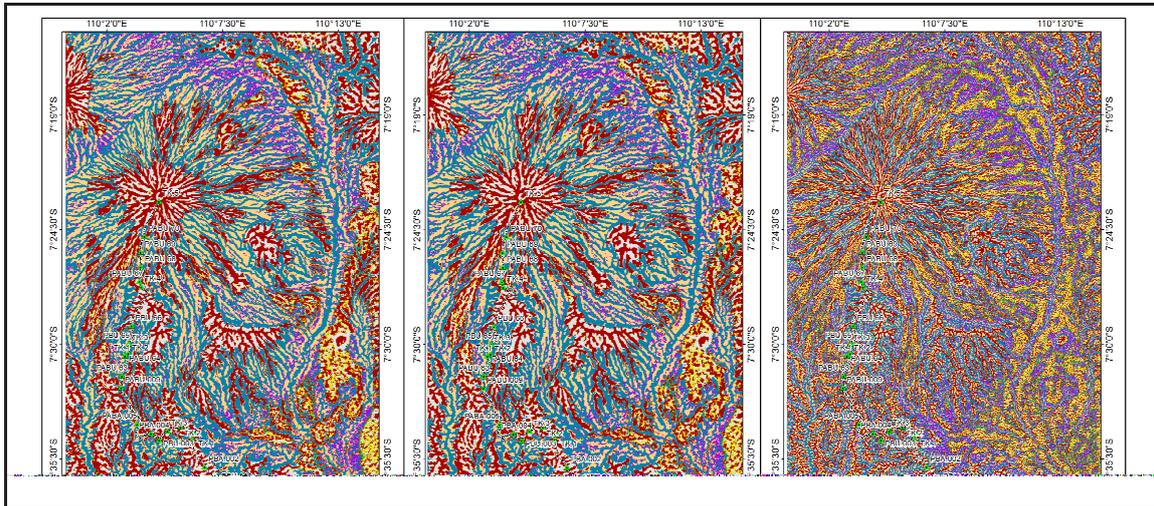
luas sebesar 136,092 km<sup>2</sup> yaitu dengan presentase sebesar 35,6 %. Artinya, posisi *Canyons, deeply incised streams* memiliki nilai TPI 300 dan TPI 2.000 negatif sehingga visualisasinya dapat merepresentasikan bentuklahan yang berada di posisi kanyon atau berada di aliran sungai yang paling dalam. Selanjutnya luasan tertinggi kedua pada nilai 25,5% seluas 99,350 km<sup>2</sup>, yaitu kelas *mountain top, high ridge*. Hal ini dipengaruhi oleh nilai TPI 300 dan TPI 2.000 positif sehingga menunjukkan posisi bentuklahan yang paling tinggi di puncak gunung atau punggung bukit. Selain itu, terdapat kelas dengan luasan yang paling kecil sebesar 0,02 % seluas 0,104 km<sup>2</sup> di posisi *plains* atau datar. Artinya, nilai TPI 300 dan TPI 2.000 berada di sekitar nilai 0 jadi posisi topografi pada AOI 1 hanya menunjukkan sedikit area yang memiliki topografi yang benar-benar datar.

Berdasarkan visualisasi peta yang dihasilkan dengan pendekatan menggunakan AOI 1, seperti pada Gambar 6 dengan cakupan area kecil tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Meskipun ketiganya memiliki resolusi spasial yang berbeda, yakni DEMNAS resolusi 8,25 m serta ALOS

dan SRTM resolusi 30 m. Selain itu, nilai yang parameter yang digunakan sama seperti pengolahan TPI sebelumnya yang merupakan kombinasi antara *smaller* dan *larger neighborhood size* dengan *type* Annulus. Berbeda halnya dari penelitian (Sutanta & Tiera, 2019) yang menggunakan *type rectangle* dan *circle* secara terpisah.

Berbeda halnya dengan hasil visualisasi AoI 1 yang ditunjukkan pada Gambar 6, pada AoI 2 terlihat perbedaan yang cukup signifikan pada data DEMNAS yang tertera pada Gambar 7. Selain itu, pada diagram lingkaran AoI 2 data DEMNAS didominasi oleh *Canyons, deeply incised streams* dan *Midslope drainage* dengan selisih kurang dari 2 % sedangkan pada AoI 1 memiliki selisih lebih dari 13 %. Hal ini menunjukkan bahwa cakupan area akan memengaruhi hasil dari klasifikasi bentuk lahan. Meskipun data dan parameter yang digunakan sama seperti AoI 1. Temuan ini akan memberikan pertimbangan agar persiapan dan data yang digunakan sesuai dengan kebutuhan penggunaannya.

Jadi, apabila dilihat dari sebaran setiap kelasnya, hanya beberapa kelas yang didistribusikan dengan baik, seperti kelas



Gambar 7. Hasil klasifikasi bentuk lahan AoI 2 pada masing-masing data dan pendekatan

Nama Titik	X	Y	NAMOBJ	UUPP	WAKBK1	WAKBK2	WAPRO1	WAPRO2	Nomor	Arah	Keterangan
PABU.001	110.144305	-7.650331	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	1	Barat Laut	punggung bukit
PBA.001	110.125337	-7.630792	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	2	Utara	punggung bukit
PBU.002	110.121202	-7.611921	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	3	Barat Laut	punggung bukit
PBA.002	110.110629	-7.597807	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	4	Barat Laut	-
PBA.003	110.100552	-7.575777	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	5	Timur Laut	-
TK.1	110.102697	-7.571915	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	6	Barat Laut	-
TK.2	110.091461	-7.565642	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	7	Barat Daya	-
TK.3	110.081078	-7.569006	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	8	Barat Daya	-
PBU.003	110.074605	-7.5764	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	9	Barat Laut	-
PBA.004	110.06805	-7.570994	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	10	Barat Daya	as Kali Kudil
PABA.005	110.057192	-7.563527	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	11	Barat Laut	as Kali Kudil
PABU.009	110.044371	-7.534602	Magelang - Purworejo	Permendagri Nomor 15 Tahun 2013	Magelang	Purworejo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	12	Utara	as Kali Kudil
PABU.63	110.044785	-7.525013	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	13	Utara	as Kali Kudil
PABU.64	110.047746	-7.516499	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	14	Barat Laut	as Kali Kudil
TK.1	110.047456	-7.509167	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	15	Utara	as Kali Kudil
TK.2	110.050103	-7.507377	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	16	Utara	as Kali Kudil
TK.3	110.049873	-7.500875	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	17	Timur Laut	-
PBU.65	110.050522	-7.499367	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	18	Timur Laut	-
PBU.66	110.052751	-7.485196	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	19	Timur Laut	punggung bukit
TK.4	110.060244	-7.454011	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	20	Barat Laut	as Kali Tangsi
PABU.67	110.058866	-7.449574	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	21	Utara	as Kali Tangsi
PABU.68	110.059887	-7.437847	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	22	Utara	as Kali Tangsi
PABU.69	110.059657	-7.426334	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	23	Utara	as Kali Tangsi
PABU.70	110.062811	-7.413612	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah	24	Utara	as Kali Tangsi
TK.5	110.074212	-7.38571	Magelang - Wonosobo	Permendagri Nomor 8 Tahun 2013	Magelang	Wonosobo	Jawa Tengah	Jawa Tengah			

(a) Titik

(b) Garis

Gambar 4. Hasil ekstraksi informasi penanda batas

*canyons, deeply incised streams, upland drainages, headwaters; local ridges, hills in valleys; dan mountain tops, high ridges.* Keempat kelas tersebut merupakan jenis bentuk lahan yang mendominasi pada data ALOS dan SRTM sehingga bentuk lahan pada AOI 2 dapat tergambarkan dengan baik. Namun, pada data DEMNAS distribusi di setiap kelasnya lebih beragam lagi, seperti pada kelas *canyons, deeply incised streams, upland drainages, headwaters; u-shaped valleys; local ridges, hills in valleys; upper slopes, mesas; dan mountain tops, high ridges.* Hal ini dipengaruhi oleh resolusi DEMNAS yang tinggi. Selain dari 6 (enam) kelas pada data DEMNAS, dilihat dari visual hanya tergambarkan di beberapa blok area yang menyebar dan apabila *zoom in* tampilannya berupa kotak dari tiap piksel berdasarkan resolusi dari sumber data DEM nya.

### Ekstraksi Penanda Batas

Hasil ekstraksi penanda batas antara segmen garis batas Kabupaten Magelang – Kabupaten Purworejo dengan segmen garis batas Kabupaten Magelang – Kabupaten Wonosobo adalah berupa sebaran pilar dan titik kartometrik berdasarkan Permendagri Nomor 8 Tahun 2013 dan Permendagri Nomor 15 Tahun 2013. Berdasarkan hasil ekstraksi didapatkan sebanyak 25 titik penanda batas yang terdiri dari pilar (PBU, PABU, dan PABA) serta titik kartometrik (TK) dengan menghubungkan sebanyak 24 garis batas alam seperti informasi yang tertera pada Gambar 4.

### Uji Kesesuaian

Pada penelitian ini, uji kesesuaian dilakukan dengan cara mencocokkan bentuk lahan dengan data batas definitif BIG yang memiliki informasi unsur geografi alam berupa sungai dan igir bukit. Hal ini juga, seperti penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat *et al*, 2021) yang menganalisis garis batas dengan metode tumpang susun (*overlay*). Dari 10 kelas bentuk lahan, 7 diantaranya, seperti pada Tabel 4 digunakan untuk uji kesesuaian dengan unsur geografi yang terdapat pada data batas wilayah definitif BIG. Uji kesesuaian dilakukan dengan metode tumpang susun antara penanda batas dengan peta klasifikasi bentuk lahan dengan menghasilkan visualisasi seperti Gambar 6 dan Gambar 7.

Jadi berdasarkan hasil perhitungan uji kesesuaian dengan garis batas segmen Kabupaten Magelang – Kabupaten Purworejo hingga Kabupaten Magelang – Kabupaten Wonosobo diperoleh nilai lebih dari 89% sesuai, seperti yang tertera pada Tabel 5. Hal ini seperti pada beberapa penelian yang dilakukan oleh (Apriyeni *et al*, 2022), (Muddarisna *et al*, 2020), (Sutanta & Tiera, 2019) yang menghasilkan akurasi lebih dari 85%. Artinya, metode ini dapat digunakan sebagai alternatif pemantauan batas secara efektif dan efisien apabila penanda batas alam yang didominasi oleh *terrain* bergunung. Meskipun penggunaan DEM dengan resolusi rendah tidak memenuhi skala maksimum peta RBI tetapi fungsi dari peta

Tabel 4. Bentuk lahan hasil pengolahan TPI dan unsur geografi yang sepadan

No	Landform	Unsur Geografi
1	Lembah, aliran sungai yang menoreh dalam ( <i>Canyons, deeply incised streams</i> )	Sungai
2	Drainase lereng tengah, lembah dangkal ( <i>Midslope drainages, shallow valleys</i> )	Sungai
3	Drainase dataran tinggi, hulu sungai ( <i>Upland drainages, headwaters</i> )	Sungai
4	Lembah berbentuk U ( <i>U-shaped valleys</i> )	-
5	Dataran ( <i>Plains</i> )	-
6	Lereng terbuka ( <i>Open slopes</i> )	-
7	Lereng atas, punggung bukit dengan puncak yang datar ( <i>Upper slopes, mesas</i> )	Igir bukit
8	Punggungan lokal, perbukitan di lembah ( <i>Local ridges, hills in valleys</i> )	Igir bukit
9	Punggungan lereng tengah, bukit-bukit kecil di dataran ( <i>Midslope ridges, small hills in plains</i> )	Igir bukit
10	Puncak gunung, punggung bukit tinggi ( <i>Mountain tops, high ridges</i> )	Igir bukit

Tabel 5. Hasil uji kesesuaian peta hasil penelitian dengan batas definitif BIG

Pendekatan	DEM	Hasil Uji Kesesuaian
AOI 1	ALOS	92,097%
	SRTM	92,510%
	DEMNAS	93,120%
AOI 2	ALOS	92,510%
	SRTM	91,847 %
	DEMNAS	89,267%

Tabel 5. Skala maksimum peta

Data	Skala	Terdeteksi dalam meter	Resolusi Spasial (m)
Vektor RBI	1:25.000	25	12,5
Geodatabase RBI	1:50.000	50	25
Citra ALOS	1:60.000	60	30
Citra SRTM	1:60.000	60	30
Citra DEMNAS	1:16.500	16,5	8,25

bentuk lahan yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah sebagai acuan dalam pemantauan batas wilayah

Secara keseluruhan, DEM dari berbagai sumber sudah sesuai dengan garis batas kabupaten. Hal ini dipengaruhi oleh akuisisi data batas atau penarikan garis batas yang sesuai dengan Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia (Permendagri) Nomor 141 Tahun 2017 Tentang Penegasan Batas Daerah. Di dalam peraturan tersebut mengatur teknis pelaksanaan akuisisi data batas kabupaten dengan menggunakan skala minimal penyajian peta sebesar 1:100.000. Dilihat dari Peta Rupabumi Indonesia salah satu layernya merupakan vektor batas yang memiliki skala 1:25.000 tetapi dikelola dalam geodatabase Katalog Unsur Geografi Indonesia (KUGI) skala 1:50.000. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan teori Waldo Tobler (1987) yang dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Jika skala} = \frac{a}{b}, \text{ maka Resolusi spasial (Rs)} = \frac{b}{1.000} \times 0,5 \quad (3)$$

Hasilnya tertera pada **Tabel 5**. maka peta yang dihasilkan dari berbagai DEM tidak memenuhi untuk kepentingan *updating* peta RBI. Namun, untuk kepentingan pemantauan batas dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai sumber data dengan resolusi yang rendah karena pada prinsipnya

pemantauan batas memperhatikan pola garis batasnya. Dalam hal ini pola garis batas dapat tergambar dengan cukup baik dengan menggunakan parameter dan metode *Topographic Position Index*.

### KESIMPULAN

Pemantauan batas wilayah tingkat kabupaten, khususnya pada segmen garis Kabupaten Magelang–Kabupaten Purworejo hingga Kabupaten Magelang–Kabupaten Wonosobo, menunjukkan bahwa data *Digital Elevation Model* (DEM) seperti ALOS AW3D, SRTM V3 Global, dan DEMNAS dapat diolah menggunakan metode *Topographic Position Index* (TPI) untuk menghasilkan klasifikasi bentuk lahan dengan akurasi lebih dari 89%. Hasil klasifikasi menunjukkan tiga bentuk lahan dominan (*canyons, deeply incised streams; mountain tops, high ridges; dan local ridges, hills in valleys*), yang secara kartometrik mendukung pemantauan garis batas administrasi pada wilayah dengan karakteristik alamiah.

Meskipun data DEM yang digunakan merupakan *Digital Surface Model* (DSM) yang merepresentasikan permukaan objek, hasil analisis tetap menunjukkan bahwa metode TPI mampu memetakan batas secara efektif pada skala kabupaten. Untuk mendukung akurasi lebih tinggi, rekomendasi ke depan adalah menggunakan data *Digital Terrain Model* (DTM) yang lebih mencerminkan kondisi topografi sebenarnya.

Selain itu, metode TPI berpotensi dikembangkan untuk pemantauan batas pada skala yang lebih kecil, seperti batas desa, maupun pada skala lebih besar, seperti batas provinsi, dengan penyesuaian terhadap resolusi DEM dan cakupan wilayah. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan data DEM dengan metode TPI untuk mengklasifikasikan bentuk lahan dapat dijadikan sebagai alternatif dalam mendukung pemantauan batas administrasi yang akurat dan efisien.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pemetaan Batas Wilayah (PPBW), Badan Informasi Geospasial (BIG) atas *support* data segmen batas Kabupaten Magelang – Kabupaten Purworejo hingga Kabupaten Magelang – Kabupaten Wonosobo. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponimi serta Pusat Pengelolaan dan Penyebarluasan Informasi Geospasial, Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah memberi akses data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS). Selanjutnya, kepada *United States Geological Survey* (USGS) yang telah memberikan akses data DEM SRTM V3 Global dan *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) yang telah memberikan akses data DEM ALOS AW3D. Tak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada Aji Putra Perdana, S.Si. yang telah memberikan pandangan keilmuan terkait batas wilayah.

## KONTRIBUSI PENULIS

**Penulis Pertama** mendesain metode penelitian, analisis data, interpretasi hasil dan menulis naskah publikasi; **Penulis Kedua** melakukan analisis data, interpretasi hasil, supervisi, dan *review* naskah publikasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-husban, Y. (2019). Landforms Classification of Wadi Al-Mujib Basin in Jordan, based on Topographic Position Index (TPI), and the production of a flood forecasting map. *Dirasat, Human and Social Sciences*, 44-56.  
<https://doi.org/10.35516/0103-046-003-004>
- Apriyeni, B. A., Mubarakah, N., & Ramli, M. (2022). Topographic Position Indeks Analisis Untuk Interpretasi Landform Pulau Lombok Berdasarkan Digital Elevation Model (DEM). *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 264-273.  
<https://doi.org/10.29408/geodika.v6i2.7031>
- Bashit, N., Prasetyo, Y., Firdaus, H. S., & Amarrohman, F. J. (2019). Penetapan Batas Desa Secara Kartometrik Menggunakan Citra Quickbird. *Jurnal Pasopati*, 9-15.
- BIG. (2018). Tanah Air Indonesia. Diambil kembali dari Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional: <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>
- Bufalini, M., Materazzi, M., Amicis, M. D., & Pambianchi, G. (2021). From traditional to modern 'full coverage' geomorphological mapping: a study case in the Chienti river basin (Marche region, central Italy). *JOURNAL OF MAPS*, 17-38.  
<https://doi.org/10.1080/17445647.2021.1904020>
- Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). Peta Geologi Kabupaten Magelang. Retrieved from Portal Data Pemerintah Provinsi Jawa Tengah: <https://data.jatengprov.go.id/dataset/peta-geologi-kabupaten-magelang>.
- Hidayat, F., Munawaroh, & Rachma, T. R. (2021). Tipologi batas wilayah administrasi untuk memudahkan pengelolaan batas daerah di Indonesia. *Majalah Geografi Indonesia*, 112-122.  
<https://doi.org/10.22146/mgi.61791>
- Hidayat, P. I., Subiyanto, S., & Sasmito, B. (2016). Analisis Kualitas DEM Dengan Membandingkan Metode Orthorektifikasi Memakai Citra Resolusi Tinggi (Studi Kasus: Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 22-31.
- JAXA. (2024, 2 26). Eearth-graphy. Retrieved from Precise Global Digital 3D Map "ALOS World 3D" (AW3D): <https://earth.jaxa.jp/en/data/2552/index.html>
- Jennes, J. (2006). Topography Position Index TPI Landform Slope Classification Standardization Neighborhood Statistics. Amerika Serikat.
- Kemendagri. (2013). Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia (Permendagri) Nomor 15 Tahun 2013 Tentang Batas Daerah Kabupaten Magelang Dengan Kabupaten Purworejo Provinsi Jawa Tengah. Indonesia: Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Nasional.
- Kemendagri. (2013). Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia (Permendagri) Nomor 8 Tahun 2013 Tentang Batas Daerah Kabupaten Magelang Dengan Kabupaten Wonosobo Provinsi Jawa Tengah. Indonesia: Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Nasional.
- Kemendagri. (2017). Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia (Permendagri) Nomor 141 Tahun 2017 Tentang Penegasan Batas Daerah. Indonesia: Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Nasional.
- Muddarisna, N., Yuniwati, E. D., Masruroh, H., & Oktaviansyah, A. R. (2020). An Automated Approach using Topographic Position Index (TPI) for Landform Mapping (Case Study: Gede Watershed, Malang Regency, East Java, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (pp. 1-6). San Francisco: IOP Publishing Ltd.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/412/1/012027>
- Pinther, M., Robertson, W. A., Shoshanty, M., Shrestha, B. N., & Srebro, H. (2013). *International Boundary Making*. Copenhagen, Denmark: International Federation of Surveyors.
- Polidori, L., & Hage, M. E. (2020). Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 1-36.  
<https://doi.org/10.3390/rs12213522>
- Reuter, H. I., & Nelson, A. (2009). *Geomorphometry in ESRI Packages*. Amerika: Environmental Systems Research Institute.  
[https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00011-1)
- Susetyo, D. B., Hidayat, F., Rachma, T. R., Oktaviani, N., & Nashiha, M. (2017). Analisis Kedetailan Peta Rupabumi Indonesia Multi-Skala. *Seminar Nasional Geomatika* (pp. 551-559). Indonesia: Badan Informasi Geospasial.  
<https://doi.org/10.24895/SNG.2017.2-0.453>
- Sutanta, H., & Tiera, A. (2019). Calculation of the number of peaks in The Gunung Sewu area using DEMNAS, focal maximum function and slope position classification method. *Geomatics International Conference* (pp. 1-12). Indonesia: IOP Publishing.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/389/1/012052>
- Sutanto, T. P., & Fitria, N. (2017). Klasifikasi Bentuklahan Secara Otomatis Menggunakan Topographic Position Index . *Jurnal Geografi*, 75-83.
- Trentin, R., & Robaina, L. E. (2018). Study Of The Landforms Of The Ibicuí River Basin With Use Of Topographic Position Index. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 423-431.  
<https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1383>
- USGS. (2018, 7 30). USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. Retrieved from USGS: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>.
- Weiss, A. D. (2001). *Topographic Position and Landforms Analysis* Andrew D. Weiss, The Nature Conservancy. Ecoregional Data Management Team The Nature Conservancy, Northwest Division.

- Wibowo, T. W., Ambhika, N., & Pratama, A. P. (2019). Teknik Geovisualisasi Untuk Percepatan Pemetaan Batas Desa Di Daerah Berbukit. *Majalah Ilmiah Globe*, 35-44.  
<https://doi.org/10.24895/MIG.2019.21-1.908>
- Zufrimar, & Zainal, E. (2023). Perbandingan Elevasi Dasar Sungai Berdasarkan Hasil Analisis Pada DEM Drone, DEMNAS dan DEM SRTM . *Sigma Teknika*, 471-478.  
<https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5704>