

ANALISIS THRESHOLDS CURAH HUJAN PEMICU LONGSOR DI KULON PROGO DIY BERDASARKAN DATA KOMPOSIT GSMAP PADA PERIODE OND TAHUN 2020 - 2022

ANALYSIS OF RAINFALL TRIGGERING THRESHOLDS IN KULON PROGO DIY BASED ON GSMAP COMPOSITE DATA IN THE OND PERIOD OF 2020 - 2022

Lu'lu Nabila Khansa^{1*}, Denisa Ajeng Sabrina¹, Bela Sela Cleodora Yostya¹, Yogi Pratama Hidayat¹, Andung Bayu Sekaranom¹, Andriyas Aryo Prabowo²

¹Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

²Stasiun Klimatologi, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Duwet, Sendangadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

*Email: lulu.nabila.khansa@mail.ugm.ac.id

Naskah masuk: 22-05-2024

Naskah diperbaiki: 22-11-2024

Naskah diterima: 11-12-2024

ABSTRAK

Intensitas curah hujan yang bervariasi setiap periode waktu menjadi salah satu faktor yang dapat memicu kejadian bencana longsor. Urgensi penanggulangan bencana longsor menjadi hal yang penting dilakukan karena bencana longsor menyebabkan kerugian material, kerusakan ekologis, bahkan korban jiwa. Salah satu kabupaten yang rawan terhadap bencana tanah longsor adalah Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Ambang batas curah hujan pemicu longsor di Kulon Progo yang diperoleh adalah 34,26 mm pada Hari H, 85,61 mm pada H-3, dan 188,54 mm pada H-10. Penerapan ambang batas terhadap data curah hujan satelit, pembobotan kelas, dan overlay Peta Potensi Rawan Longsor Balai Sabo menghasilkan hasil penelitian berupa Peta Kerawanan Longsor di Kabupaten Kulon Progo, DIY Periode Bulan OND Tahun 2020-2022. Peta tersebut menunjukkan bahwa dominasi tingkat kerawanan longsor ada pada klasifikasi rawan hingga sangat rawan terutama pada Kecamatan Samigaluh, Girimulyo, dan Kokap. Kecamatan Samigaluh menjadi kecamatan dengan potensi longsor tertinggi berdasarkan distribusi utama klasifikasi kerawanan pada tingkat sangat rentan.

Kata kunci: Ambang batas, Curah hujan, GSMaP, Kulon Progo, Longsor

ABSTRACT

The varying intensity of rainfall over different time periods is one of the factors that can trigger landslide disasters. The urgency of landslide disaster management is critical, as landslides can cause material losses, ecological damage, and even loss of life. One of the regions prone to landslides is Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta. The rainfall threshold triggering landslides in Kulon Progo was determined to be 34.26 mm on the event day (D-day), 85.61 mm three days before the event (D-3), and 188.54 mm ten days before the event (D-10). Applying the threshold to satellite rainfall data, class weighting, and overlaying the Landslide Hazard Potential Map from the Sabo Center yielded a research result in the form of a Landslide Hazard Map for Kulon Progo Regency, DIY, during the OND Period of 2020–2022. The map indicates that the dominant level of landslide hazard falls into the "prone" to "highly prone" classifications, particularly in the Samigaluh, Girimulyo, and Kokap sub-districts. Samigaluh Sub-district is identified as the area with the highest landslide potential based on the main distribution of the "highly vulnerable" classification.

Keywords: Threshold, Rainfall, GSMaP, Kulon Progo, Landslide

1. Pendahuluan

Kondisi negara Indonesia yang memiliki iklim tropis dan terletak diantara tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia menyebabkan Indonesia menjadi negara yang berpotensi tinggi dalam terjadinya bencana [1]. Bencana tersebut dapat terjadi hampir di seluruh daerah di Indonesia, salah satunya adalah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Bencana alam seperti tanah longsor dapat terjadi secara mendadak, sehingga perlu dilakukan adaptasi dan mitigasi agar dampak negatif dapat diminimalkan. Potensi klimatologis seperti curah hujan dengan intensitas yang bervariasi setiap periode waktu di D.I Yogyakarta menjadi salah satu faktor yang dapat memicu kejadian bencana longsor [2]. Tingginya intensitas curah hujan serta panjangnya durasi hujan dapat mempengaruhi kelembaban tanah yang dapat menyebabkan tanah longsor dikarenakan adanya penumpukan tekanan air ke dalam tanah [3]. Kemudian, tatanan geologis yang meliputi pola patahan batuan, perlapisan batuan, kandungan air, karakteristik tanah serta kemiringan juga mempengaruhi pergerakan tanah yang terjadi [4]. Kedua acuan data baik olahan data hujan serta plot titik lokasi sesuai karakteristik geologisnya menjadikan integrasi yang baik dalam monitoring kerawanan longsor.

Bencana tanah longsor terus meningkat seperti 351 kejadian pada 2021, dan melonjak 707 kejadian pada 2022 [5]. Secara akumulatif dalam kurun 2018-2022, dimana bencana longsor telah terjadi sebanyak 2.186 kali di DIY dengan jumlah kejadian terbanyak di Kabupaten Kulon Progo yang mencapai 1.068, diikuti Bantul 488, Gunungkidul 389, Sleman 149, dan Kota Yogyakarta 116 kejadian. Kulon Progo termasuk kabupaten yang rawan terhadap bencana tanah longsor [6]. Penelitian yang intens mengenai kerawanan bencana longsor menjadi hal yang penting dilakukan karena bencana longsor menyebabkan kerugian material, kerusakan ekologis, bahkan korban jiwa [7]. Kabupaten Kulon Progo menjadi wilayah kabupaten yang memiliki tempat wisata yang bervariasi dan menarik dikunjungi [8]. Berdasarkan kondisi di atas, analisis kerawanan longsor diperlukan untuk sektor pariwisata di Kabupaten Kulon Progo. Urgensi penanggulangan bencana tanah longsor perlu dilakukan segera dan salah satu cara yang dapat dilakukan dengan memperhitungkan dan mengkombinasikan faktor - faktor pemicu lainnya seperti curah hujan.

Longsor yang terjadi menjadi bencana alam yang dapat diramalkan, karena kedatangannya berhubungan erat dengan besarnya curah hujan yang terjadi di suatu wilayah [9]. Salah satu metode penerapan identifikasi longsor yang dapat dilakukan yaitu dengan penerapan ambang batas hujan [10]. Penentuan ambang batas hujan dapat dilakukan dengan data observasi dari stasiun hujan. Namun, hal ini tidak representatif apabila titik kejadian longsor berada di luar jangkauan atau jauh dari stasiun hujan. Oleh karena itu, penting halnya menggunakan alternatif lain berupa data satelit contohnya menggunakan data GSMaP. Hal ini dikarenakan GSMaP dapat mencakup titik longsor sesuai dengan koordinat. Penelitian ini menggunakan kombinasi data GSMaP dan curah hujan observasi untuk menentukan ambang batas curah hujan pemicu longsor. Ambang batas curah hujan yang memicu longsor tersebut dapat menjadi acuan dalam proses adaptasi dan mitigasi kerawanan bencana tanah longsor di Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Periode bulan yang diteliti dalam penelitian ini adalah bulan Oktober, November, dan Desember (OND) dengan 498 titik. Pemilihan periode OND (Oktober, November, dan Desember) tersebut dilakukan karena berdasarkan data 1083 titik yang telah diolah, diketahui bahwa pada ketiga bulan tersebut terjadi banyak bencana longsor dalam rentang tahun 2020-2022 terutama di tahun 2022. Pemilihan spesifikasi bulan hujan dapat digunakan untuk meminimalisir nilai error serta untuk mendapatkan hasil koreksi curah hujan yang baik [11]. Banyaknya longsor yang terjadi pada ketiga bulan tersebut menjadi penting untuk dilakukan penelitian agar dapat dilakukan mitigasi bencana yang dapat dipersiapkan ketika memasuki bulan-bulan yang terjadi banyak longsor.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari intensitas curah hujan terhadap kerawanan longsor di Kabupaten Kulon Progo, mengetahui nilai ambang batas curah hujan pada CH harian, CH 3 harian, serta CH 10 harian pemicu longsor di Kabupaten Kulon Progo, serta mengetahui persebaran spasial dari kerawanan bencana longsor di Kabupaten Kulon Progo, DIY.

2. Metode Penelitian

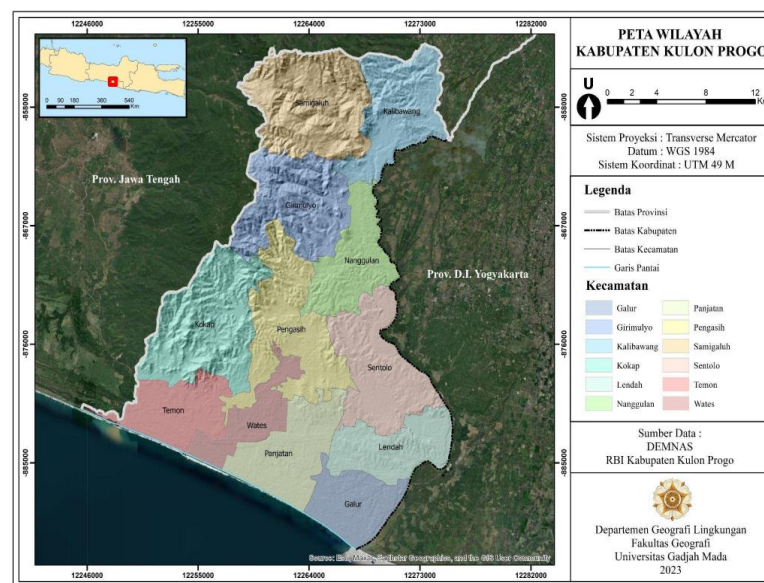
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih pada analisis kerawanan longsor, mengacu pada cakupan unit kabupaten. Tinjauan lokasi yang dipilih berada di Kabupaten Kulon Progo, DIY dengan titik koordinat $7^{\circ}38'42''$ - $7^{\circ}59'3''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}1'37''$ - $110^{\circ}16'26''$ Bujur Timur. Cakupan luasan lokasi penelitian sebesar 58.627,5 Ha meliputi 12 Kecamatan serta 88 Desa [12]. Kabupaten Kulon Progo berbatasan dengan Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul di bagian timur, kemudian di sebelah selatan berbatasan dengan Samudra Hindia. Pada bagian barat terdapat Kabupaten Purworejo dan

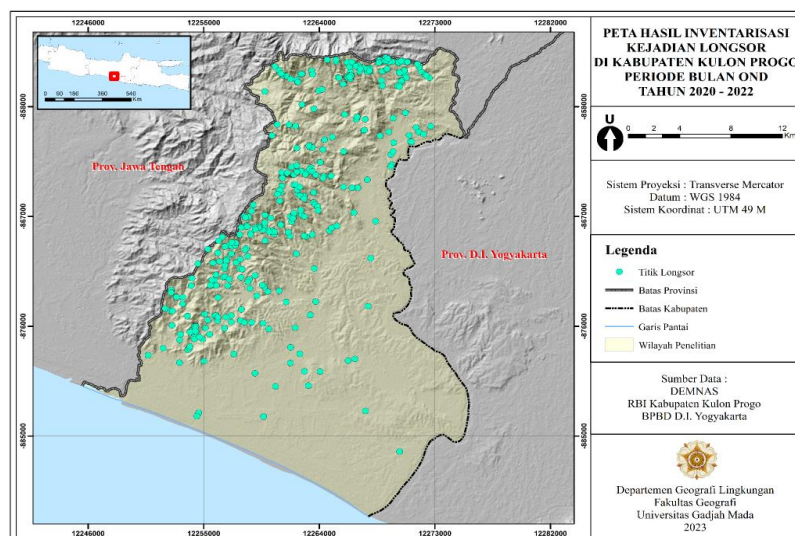
di sebelah utara terdapat Kabupaten Magelang. Adapun peta lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 1.

Pemilihan Titik Longsor.

Titik longsor dalam penelitian ini didasarkan oleh data dari Badan Penanggulangan. Bencana Daerah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Spesifikasi titik mengarah pada lokasi kajian, yaitu di Kabupaten Kulon Progo, DIY. Sebanyak 387 titik longsor dengan koordinat tertentu di periode tahun 2020 - 2022 didapatkan setelah dilakukan seleksi data longsor. Peta titik longsor di Kulon Progo periode tahun 2020-2022 ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian
Sumber: Olahan Kelompok 2 UGM Magang BMKG, 2023



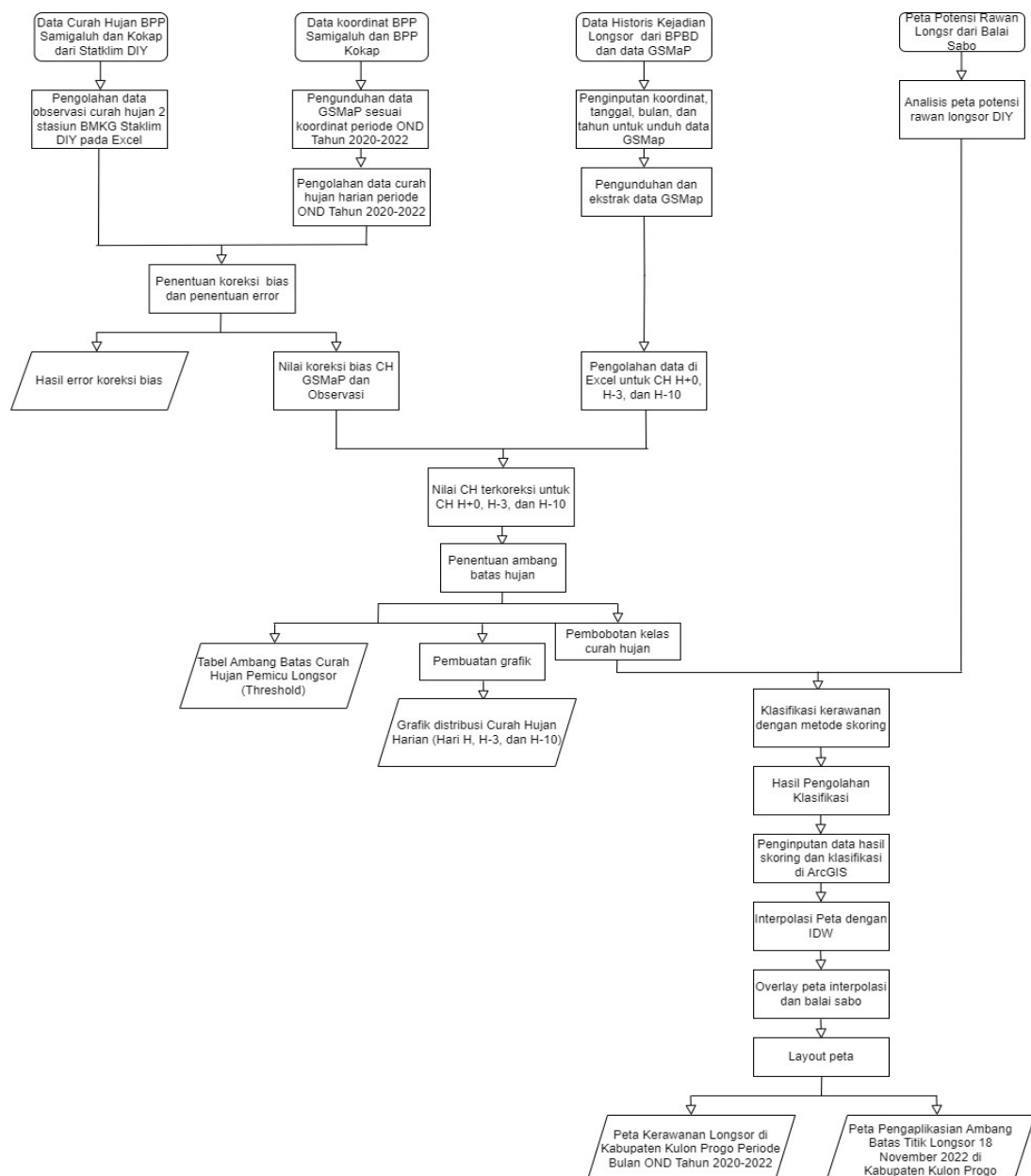
Gambar 2. Peta Titik Longsor di Kabupaten Kulon Progo Periode Bulan OND Tahun 2020-2022
Sumber: Olahan Kelompok 2 UGM Magang BMKG, 2023

Data Penelitian

1. Data curah hujan dari komposit GSMaP tahun 2020 - 2022.
2. Data kejadian longsor di Kabupaten Kulon Progo periode tahun 2020 - 2022 bersumber dari BPBD Daerah Istimewa Yogyakarta didapat pada tahun 2023.
3. Data curah hujan hasil observasi stasiun hujan tahun 2020 - 2022 bersumber dari BMKG dengan rincian BPP Samigaluh dan BPP Kokap yang didapat pada tahun 2023.
4. Data peta klasifikasi longsor Daerah Istimewa Yogyakarta yang bersumber dari Balai SABO DIY

Kerangka Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan menggunakan data sekunder. Metode kuantitatif digunakan untuk penelitian yang menggunakan data dalam bentuk numerik, sehingga terdapat hasil analisis berupa tabel, grafik, maupun tabel yang dianalisis secara sistematis dan statistik [13]. Hal ini sesuai dengan output akhir penelitian yang berupa tabel, grafik, serta peta kerawanan bencana longsor. Adapun diagram alir yang digunakan dalam analisis penelitian ini dengan mencakup input, proses, dan juga output, ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir

Sumber: Olahan Kelompok 2 UGM Magang BMKG, 2023

Metode Analisis Data

Penghapusan data outlier.

Data yang signifikansinya lebih kecil dan sama dengan 0,001 dianggap sebagai data outlier [14]. Data yang diidentifikasi sebagai outlier apabila dinilai tidak merepresentasikan populasi, sehingga perlu dibuang [15]. Berdasarkan dasar inilah, dapat dijadikan acuan pada pengolahan penghapusan data 0 di hari H longsor karena pada hari-H kejadian longsor ada kepastian terjadinya hujan.

Koreksi Data

Tahap awal sebelum mengolah ambang batas hujan diperlukan olah data koreksi antara data curah hujan observasi dengan data curah hujan dari GSMaP. Acuan data curah hujan observasi yang digunakan untuk proses koreksi yaitu data curah hujan harian (mm/hari) dari BPP Samigaluh dan BPP Kokap, Kulon Progo, DIY. Pemilihan stasiun pengamatan hujan di BPP Samigaluh dan BPP Kokap dipilih dikarenakan stasiun pengamatan tersebut yang representatif karena berlokasi di lokasi penelitian dan memiliki kejadian longsor yang cukup banyak terjadi dalam periode 2020 - 2022. Koreksi bias dengan data terestrial berupa stasiun hujan observasi diperlukan untuk memvalidasi curah hujan di GSMaP menjadi curah hujan yang akurat dan aktual sesuai dengan nilai curah hujan yang sebenarnya terjadi. Adapun koreksi bias yang digunakan mengacu pada [16];

$$\text{Bias Correction Factor (BF)} = \frac{\text{Gauge Precipitation (Gi)}}{\text{GSMaP Precipitation (Si)}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{GSMaP}_{\text{corrected}} (\text{Si}_{\text{corr}}) = \text{Bias Correction Factor (BF)} \times \text{GSMaP Precipitation (Si)} \dots\dots\dots(2)$$

Langkah selanjutnya setelah memperoleh data curah hujan observasi dan curah hujan GSMaP tahun 2022 yang diunduh sesuai waktu dan koordinat di website JAXA Global Rainfall Watch dilakukan penyesuaian pencatatan curah hujan antara stasiun pengamatan dan GSMaP, perhitungan rata - rata curah hujan observasi dan GSMaP satu tahun untuk menghasilkan koreksi bias sebagai faktor koreksi(1), dan perhitungan koreksi bias(2) menggunakan rumus yang tertera di atas sehingga menghasilkan nilai koreksi bias per hari. Koreksi bias dilakukan dengan menggunakan faktor perbaikan bias untuk koreksi setiap jam data curah hujan yang kemudian diubah menjadi harian data curah hujan [17]. Penggunaan rumus koreksi bias tersebut melalui bias perkalian sederhana faktor koreksi karena adanya kelangkaan data dari sistem stasiun pengukur hujan [18]. Hasil akhir koreksi bias adalah nilai curah hujan hasil koreksi yang

overestimate atau underestimate dalam periode waktu harian.

Penentuan nilai Error dengan Sampel.

Nilai error menggunakan sampel data sebanyak 75 titik CH GSMaP terkoreksi titik longsor dengan CH Observasi untuk wilayah BPP Samigaluh dan BPP Kokap. Pemilihan sampel didasarkan pada wilayah dan waktu dan kemudian diolah menggunakan RMSE yang mengacu pada [19];

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - Q_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Fi = Nilai Prediksi

Qi = Nilai Observasi

n = Banyaknya Data

Kompilasi dan Konversi Data

Pada proses analisis data, dilakukan perolehan data terlebih dahulu dengan mengunduh data curah hujan dari 387 titik koordinat longsor di GSMaP melalui website JAXA Global Rainfall Watch (<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>) dengan menu negara Indonesia. Kemudian dilanjutkan dengan subset data untuk input latitude dan longitude serta acuan waktu yang dibutuhkan dengan format *.csv. Data awal yang didapatkan dari hasil pengunduhan GSMaP merupakan data curah hujan dalam bentuk per jam. Selanjutnya, data yang dibutuhkan dalam pengolahan ambang batas hujan memerlukan skala temporal berupa data harian.

Penyesuaian Zona Waktu

Produk data hujan GSMap yang digunakan dalam analisis merupakan data Near Real Time, sehingga membutuhkan penyesuaian zona waktu setempat berdasarkan zona waktu UTC. Kabupaten Kulon Progo termasuk dalam zona waktu WIB (Waktu Indonesia Barat) yang memiliki selisih waktu sebanyak +7 jam dengan zona waktu UTC. Perbedaan waktu tersebut menyebabkan perlunya penambahan 7 jam dalam susunan waktu yang telah di unduh di GSMaP.

Update Nilai Curah Hujan Hasil Koreksi

Data curah hujan harian GSMaP sebanyak 387 titik longsor selanjutnya dilakukan proses penambahan dengan nilai curah hujan hasil koreksi sehingga menghasilkan nilai curah hujan yang akurat sesuai dengan keadaan sebenarnya.

Klasifikasi Nilai Curah Hujan

BMKG [20], mengklasifikasikan curah hujan kedalam lima kategori, yakni: 1) Curah hujan sebesar 0,5 - 20 mm/hari masuk dalam kategori

hujan ringan, 2) Curah hujan sebesar 20 - 50 mm/hari masuk dalam kategori hujan sedang, 3) Curah hujan sebesar 50 - 100 mm/hari masuk dalam kategori hujan lebat, 4) Curah hujan sebesar 100 - 150 mm/hari masuk dalam kategori hujan sangat lebat, dan 5) Curah hujan sebesar >150 mm/hari masuk dalam kategori hujan ekstrem.

Perhitungan Nilai Ambang Batas Curah Hujan Pemicu Longsor

Nilai ambang batas pemicu longsor dibagi menjadi 3 yaitu ambang batas curah hujan harian, curah hujan 3 harian, dan curah hujan 10 harian (dasarian). Penentuan klasifikasi ambang batas pemicu longsor didasarkan pada beberapa pertimbangan. Curah hujan harian yang mewakili curah hujan yang berdampak langsung saat kejadian longsor. Data kumulatif 3 hari dipilih berdasarkan tanah longsor banyak yang dipicu oleh intensitas curah hujan dari 72 jam atau kurang [21]. Data kumulatif 10 hari digunakan karena menghasilkan nilai ambang batas relatif rendah terikat inisiasi tanah longsor [22]. Nilai ambang batas dapat diperoleh melalui kalkulasi nilai tengah pada curah hujan harian, 3 harian, dan dasarian dari nilai curah hujan hasil koreksi pemicu longsor [23]. Pengelompokan nilai hujan dibagi menjadi tiga, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokan Nilai Hujan

Acuan	Keterangan	Rumus
CH (H)	Jumlah nilai curah hujan pada saat longsor terjadi	Σ [Hari H]
CH (H-3)	Jumlah nilai curah hujan akumulasi dari tiga hari sebelum longsor terjadi	Σ [Nilai 3 hari sebelum hari H]
CH (H-10)	Jumlah nilai curah hujan akumulasi sepuluh hari (dasarian) sebelum longsor terjadi	Σ [Nilai 10 hari sebelum hari H]

Sumber: USACE, 1997

Pembobotan Kelas Curah Hujan

Nilai curah hujan di hari H, H-3, dan H-10 yang telah diolah dengan menggunakan metode median dilakukan pembobotan untuk menemukan klasifikasi dari tingkat kerawanan curah hujan yang dapat menyebabkan longsor dengan kalkulasi tabel 2.

Tabel 2. Skoring Pembobotan Curah Hujan

Pembobotan Curah Hujan	Keterangan	Skor
Tidak Ada Peringatan	Jika Curah Hujan Hari H < 34,26 mm	0
Rendah	Jika Curah Hujan Hari H > 34,26 mm	1
Sedang	Jika Curah Hujan Hari H > 34,26 mm dan Curah Hujan H-3 > 85,61 mm	2
Tinggi	Jika Curah Hujan Hari H > 34,26 mm dan Curah Hujan H-3 > 85,61 mm, dan Curah Hujan H-10 > 188,54 mm	3

Sumber: Olahan Kelompok 2 UGM Magang BMKG, 2023

Pengolahan Klasifikasi

Proses pengolahan klasifikasi didasarkan oleh dua acuan, yang pertama yaitu klasifikasi dari hasil olah data curah hujan berupa skor ambang batas dan yang kedua adalah skor kriteria longsor SABO. Kalkulasi nilai skoring (0,1,2, dan 3) dari dua acuan digunakan untuk menentukan tingkat klasifikasi kerawanan bencana longsor. Adapun tabel klasifikasi yang digunakan dalam pengolahan penelitian, yaitu sebagai berikut:

Skor Ambang Batas CH		<34.26	>34.26	>85.61	>188.54
Skor Kriteria Longsor SABO		0	1	2	3
Sangat Rendah	0	0	1	2	3
Rendah	1	1	2	3	4
Menengah	2	2	3	4	5
Tinggi	3	3	4	5	6

Keterangan Klasifikasi:	
	: Tidak Rawan
	: Agak Rawan
	: Rawan
	: Sangat Rawan

Gambar 4. Klasifikasi Kerawanan Bencana Longsor Kabupaten Kulon Progo

Sumber: Olahan Kelompok 2 UGM Magang BMKG, 2023

Interpolasi

Metode interpolasi yang digunakan dalam pengolahan yaitu berupa metode IDW (*Inverse Distance Weighted*). Teknik interpolasi dengan metode IDW menjadi cara deterministik sederhana dengan mempertimbangkan titik di sekitarnya [24]. Interpolasi spasial dengan menggunakan IDW sesuai dilakukan dalam pemetaan terkait dengan nilai ambang batas curah hujan dalam pemetaan kerawanan longsor yang sudah diolah dan diklasifikasikan.

Hal ini disebabkan oleh relevansi spasial dari metode *Inverse Distance Weighted* yang sesuai dalam menciptakan representasi distribusi curah hujan terhadap longsor dengan pertimbangan jarak titik antar data [25]. Kemudian dengan IDW, dapat memberikan sensitivitas terhadap lingkungan lokal karena memberikan bobot yang lebih besar pada titik data yang berdekatan dan bobot yang kecil pada titik yang lebih jauh, dimana hal ini menjadi penerapan dalam konsep inversi jarak yang sesuai. *Inverse Distance Weighted* cenderung memberikan hasil yang baik dengan penggunaan data titik sampel yang cukup rapat, dan dalam pemodelan data dalam pemetaan kerawanan longsor ini memiliki titik longsor yang dapat meningkatkan akurasi pemetaan.

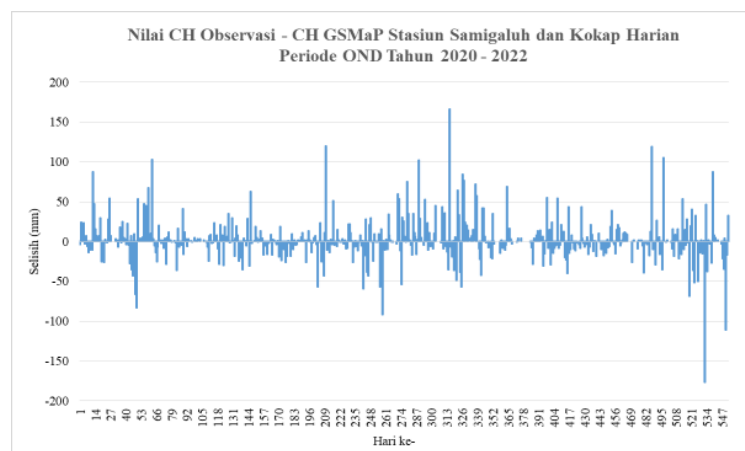
Pengolahan Integrasi Spasial Dalam Pemetaan Kerawanan Bencana

Kajian ini diintegrasikan dengan sistem informasi geografis memanfaatkan beberapa *geoprocessing tools* yang ada di dalam aplikasi sistem informasi geografis berupa *software* QGIS. *Geoprocessing* di dalam sistem informasi geografis merupakan sebuah alat untuk melakukan analisis spasial yang mengkaji lokasi objek secara kualitatif beserta sifat-sifat dan data mengenai objek tersebut [26]. Dominasi pengolahan menggunakan tools *geoprocessing* berupa *overlay* yaitu tools yang dapat menggabungkan geometri dan tabel atribut dari beberapa layer data untuk menghasilkan sebuah peta komposit baru [27]. Peta baru yang dihasilkan dari proses *overlay* tersebut merupakan peta kerawanan bencana longsor terhadap ambang batas curah hujan dengan korelasi data observasi dan komposit GSMaP yang merupakan luaran dari proses penelitian ini.

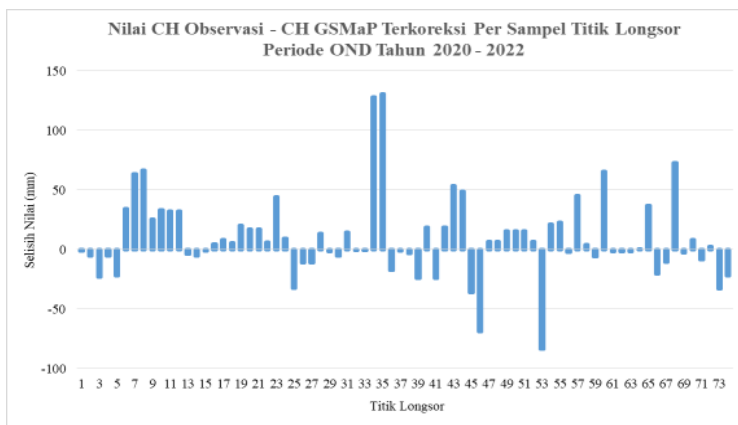
3. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan curah hujan observasi dengan curah hujan hasil ekstrak GSMaP divisualisasikan dalam grafik untuk mengetahui distribusi pada kedua data tersebut. Berdasarkan Gambar 5, distribusi nilai curah hujan periode OND tahun 2020 - 2021 cenderung lebih tinggi curah hujan observasi dibandingkan dengan curah hujan GSMaP. Hal tersebut dapat dilihat dominasi nilai selisih curah hujan memiliki nilai positif. Perbandingan kedua data tersebut kemudian menghasilkan nilai faktor koreksi bias senilai 1,16 yang digunakan sebagai faktor yang akan dikalikan dengan curah hujan harian dari curah hujan H+0 - H-10. Nilai curah hujan tersebut kemudian menghasilkan nilai curah hujan terkoreksi yang lebih representatif sehingga dapat digunakan dalam analisis ambang batas curah hujan.

Berdasarkan Gambar 5, distribusi nilai curah hujan periode OND tahun 2020 - 2021 cenderung lebih tinggi curah hujan observasi dibandingkan dengan curah hujan GSMaP. Hal tersebut dapat dilihat dominasi nilai selisih curah hujan memiliki nilai positif. Perbandingan kedua data tersebut kemudian menghasilkan nilai faktor koreksi bias senilai 1,16 yang digunakan sebagai faktor yang akan dikalikan dengan curah hujan harian dari curah hujan H+0 - H-10. Nilai curah hujan tersebut kemudian menghasilkan nilai curah hujan terkoreksi yang lebih representatif sehingga dapat digunakan dalam analisis ambang batas curah hujan.



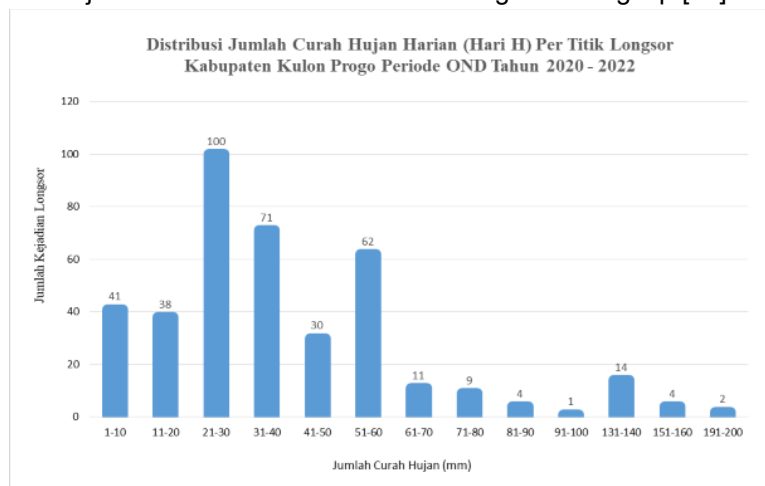
Gambar 5. Nilai Curah Hujan Observasi - Curah Hujan GSMaP Stasiun Samigaluh dan Kokap Harian Periode OND Tahun 2020 - 2022.



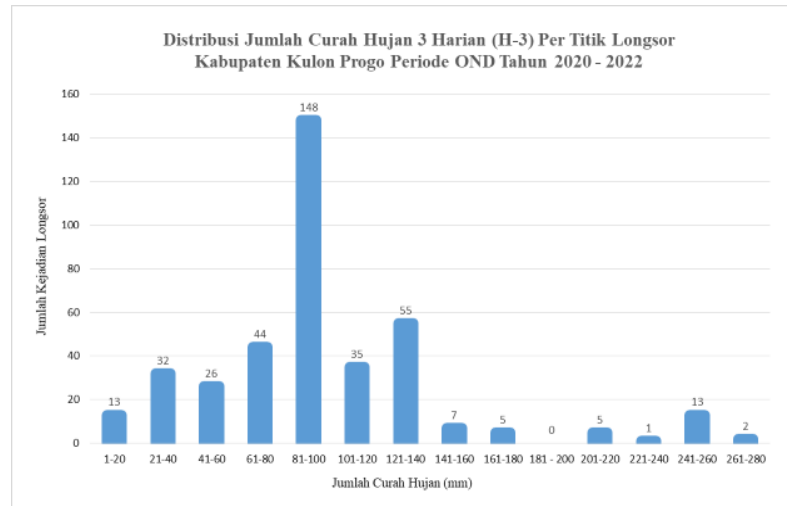
Gambar 6. Nilai Curah Hujan Observasi - Curah Hujan GSMaP Terkoreksi Per Sampel Titik Longsor Periode OND Tahun 2020 - 2022.

Update nilai curah hujan GSMaP yang terkoreksi juga dilakukan visualisasi yang disajikan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar grafik 6, diketahui nilai curah hujan GSMaP setelah dikoreksi juga memiliki dominasi selisih nilai curah hujan positif yang berarti nilai GSMaP lebih rendah dibawah nilai curah hujan observasi. Nilai curah hujan yang *underestimate* dibandingkan curah hujan observasi sesuai dengan penelitian sebelumnya. Curah hujan GSMaP juga cenderung *underestimate* dalam menggambarkan intensitas curah hujan yang sebenarnya sesuai hasil observasi permukaan dan belum mampu mendeteksi curah hujan ekstrem dikarenakan data GSMaP memiliki variasi spasial curah hujan kategori ringan hingga sangat lebat yang dilihat dari sebaran atau polanya [28]. Curah hujan GSMaP selalu

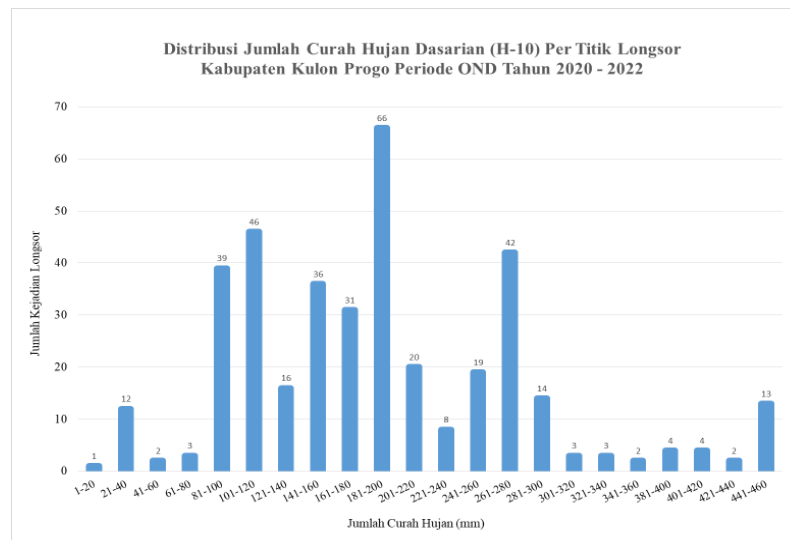
lebih rendah dari intensitas curah hujan permukaan yang disebabkan karena adanya variabilitas nilai emisi permukaan [29]. Data yang sudah dikoreksi juga perlu diketahui nilai RMSE-nya agar mengetahui nilai eror antara curah hujan yang dikoreksi dengan curah hujan observasi. Nilai rata - rata RSME yang didapatkan dari 75 sampel curah hujan hari kejadian longsor adalah 22,78 mm. Nilai tersebut dapat diartikan bahwa perbedaan antara nilai curah hujan GSMaP terkoreksi dengan curah hujan observasi adalah 22,78 mm/hari. Walaupun masih memiliki nilai error namun penggunaan curah hujan penggunaan data GSMaP cukup representatif karena dapat disesuaikan sesuai koordinat dan dapat memenuhi data curah hujan observasi yang cenderung tidak lengkap [30].



Gambar 7. Distribusi Jumlah Curah Hujan Harian (Hari H) Per Titik Kejadian Longsor di Kulon Progo, DIY Periode OND Tahun 2020-2022.



Gambar 8. Distribusi Jumlah Curah Hujan Harian (Hari H-3) Per Titik Kejadian Longsor di Kulon Progo, DIY Tahun 2022.



Gambar 9. Distribusi Jumlah Curah Hujan Dasarian Per Titik Kejadian Longsor di Kulon Progo, DIY Tahun 2022.

Berdasarkan Gambar 7. diketahui bahwa terjadi jumlah longsor yang lebih sedikit pada jumlah curah hujan sebesar 91-100 mm, yaitu hanya 1 kejadian saja sedangkan pada curah hujan 21-30 mm terjadi jumlah longsor paling banyak sejumlah 100 kejadian. Kemudian, pada Gambar 8. jumlah curah hujan dengan rentang sebesar 181-200 mm tidak memiliki kejadian longsor sedangkan pada rentang jumlah curah hujan sebesar 81-100 mm memiliki kejadian longsor terbanyak sebanyak 148 kejadian. Pada Gambar 9. diketahui bahwa jumlah curah hujan paling kecil sebesar 1-20 mm memiliki jumlah kejadian longsor paling sedikit, yakni 1 kejadian saja sedangkan kejadian longsor paling banyak berada pada rentang jumlah curah hujan sebesar 181-200 mm sebanyak 66.

Berdasarkan ketiga grafik tersebut, pada hari H diketahui terjadi longsor terbanyak pada curah hujan sedang sedangkan pada H-3 kejadian longsor terbanyak terjadi saat hujan dalam kondisi lebat dan pada H-10 kejadian longsor terbanyak terjadi pada saat hujan ekstrem. Namun, tidak semua hujan ekstrem menyebabkan kejadian longsor karena pada Gambar 8. diketahui bahwa terdapat 0 kejadian longsor saat terjadi hujan ekstrem.

Jumlah longsor terbanyak pada hari H berada dalam rentang jumlah curah hujan sebesar 21-30 mm disusul dengan jumlah longsor terbanyak ke 2 berada pada rentang jumlah curah hujan 31-40 mm. Lalu, pada curah hujan pada H-3 kejadian longsor yang paling banyak berada di

rentang jumlah curah hujan sebesar 81-100 mm. Sedangkan kejadian longsor terbanyak pada curah hujan pada H-10 terdapat pada rentang 181-200 mm. Berdasarkan data tersebut maka dapat diketahui bahwa semakin tinggi curah hujan yang melebihi ambang batas maka jumlah kejadian longsornya semakin banyak.

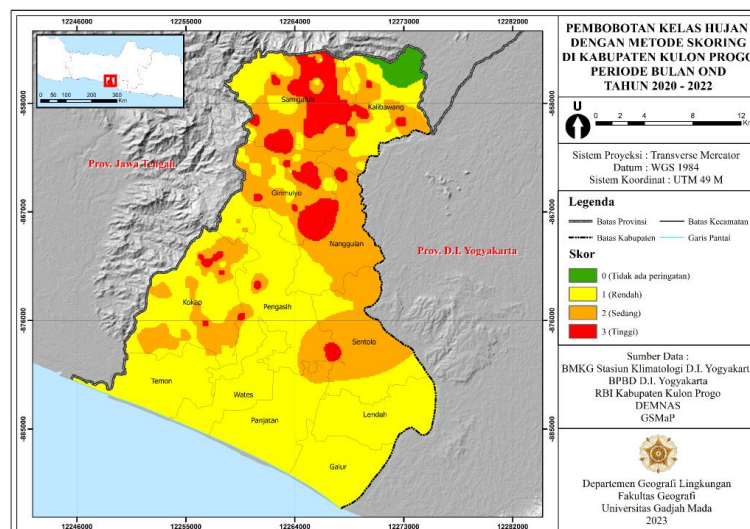
Penentuan ambang batas harian serta hujan kumulatif tiga harian dan sepuluh harian didasarkan oleh data kejadian longsor serta curah hujan pemicu longsor dari komposit GSMaP yang sudah dikoreksi. Klasifikasi tiga acuan ambang batas curah hujan pemicu longsor ini didasarkan pada besarnya intensitas hujan dalam suatu kurun waktu yang memengaruhi sistematisa tanah terkait longsor yang terjadi. Longsor lereng pada musim hujan disebabkan oleh infiltrasi air hujan ke dalam tanah yang menyebabkan tanah menjadi jenuh, sehingga terjadi perubahan atas berkurangnya suction sampai mencapai nol oleh infiltrasi [31]. Kejadian longsor atas hubungan curah hujan mengarah pada proses infiltrasi hujan yang membutuhkan skala waktu tertentu [32] Berdasarkan hal tersebut menjadikan analisis data yang dilakukan tidak hanya berada pada acuan hari-H saat kejadian longsor, namun tiga hari (H-3) dan juga sepuluh hari sebelum terjadi longsor (H-10). Berikut hasil nilai ambang batas curah hujan pemicu longsor di Kabupaten Kulon Progo.

Tabel 3. Ambang Batas Curah Hujan Pemicu Longsor (mm).

Curah Hujan Harian	Nilai Ambang Batas
H+0	34,26
H-3	85,61
H-10	188,54

Sumber: Olahan Kelompok 2 UGM Magang BMKG, 2023

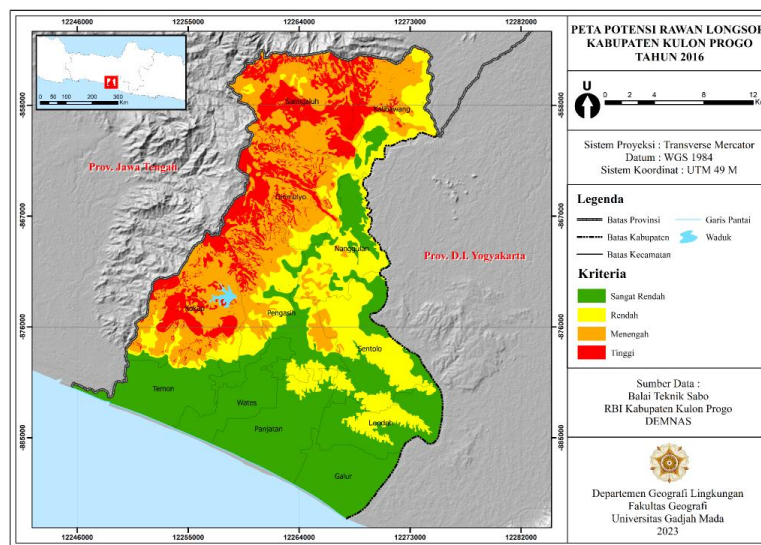
Berdasarkan Tabel 3, terdapat tiga kuantitas ambang batas curah hujan pemicu longsor dalam satuan milimeter (mm). Adapun hasil yang diperoleh, yaitu pada curah hujan harian saat kejadian memiliki ambang batas sebesar 34,26 mm. Kemudian, kalkulasi ambang batas curah hujan dalam tiga hari sebelum terjadi longsor sebesar 85,61 mm, dan ambang batas curah hujan pemicu longsor dari sepuluh hari sebelum kejadian sebesar 188,54 mm. Ambang batas curah hujan dapat diartikan sebagai batas bawah dari titik longsor yang disebabkan oleh curah hujan [33]. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikaitkan dengan hasil penelitian bahwa apabila terdapat intensitas hujan yang kurang dari 34,26 mm dalam satu hari kejadian, maka tidak terjadi bencana longsor di suatu titik Kulon Progo. Sedangkan, apabila di suatu titik terdapat intensitas hujan yang lebih dari 34,26 mm, maka akan berpotensi terjadi longsor. Namun, kejadian longsor juga perlu meninjau acuan ambang batas sebelum hari terjadinya bencana longsor. Apabila curah hujan H-3 melebihi 85,61 mm dan curah hujan H-10 melebihi 188,54 mm maka terdapat potensi longsor.



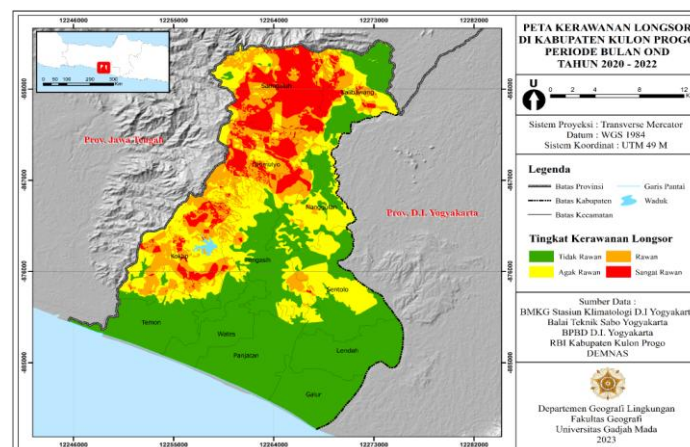
Gambar 10. Peta Pembobotan Kelas Hujan Dengan Metode Skoring di Kabupaten Kulon Progo, DIY Periode Bulan OND Tahun 2020-2022.

Gambar 10. merupakan peta yang merepresentasikan kondisi curah hujan baik itu tinggi maupun rendah pada periode Bulan Oktober, November, dan Desember Tahun 2020-2022. Peta Pembobotan kelas hujan diatas merupakan hasil interpolasi dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*) dari data curah hujan GSMaP seluruh titik longsor yang telah dikoreksi dengan data curah hujan observasi. Curah hujan terkoreksi tersebut kemudian dilakukan dengan metode median sehingga menghasilkan skor. Berdasarkan Gambar 10. dapat terlihat bahwa Kabupaten Kulon Progo didominasi oleh pembobotan

dengan skor nilai 1 atau sedang. Skor terendah berada di Kecamatan Kalibawang bagian utara dengan skor 0 atau tidak ada peringatan. Kecamatan yang mendominasi oleh pembobotan kelas hujan tinggi dengan skor 3 adalah Kecamatan Samigaluh dan Girimulyo. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa curah hujan tertinggi pada periode bulan Oktober, November, Desember tahun 2020 - 2022 terdapat di Kecamatan Samigaluh dan Girimulyo. Kecamatan yang memiliki berbagai variasi kelas hujan adalah Kecamatan Kalibawang dengan nilai skor 0, 2, dan 3.



Gambar 11. Peta Potensi Rawan Longsor di Kabupaten Kulon Progo, DIY Tahun 2016.



Gambar 12. Peta Kerawanan Longsor di Kabupaten Kulon Progo, DIY periode bulan OND Tahun 2020-2022.

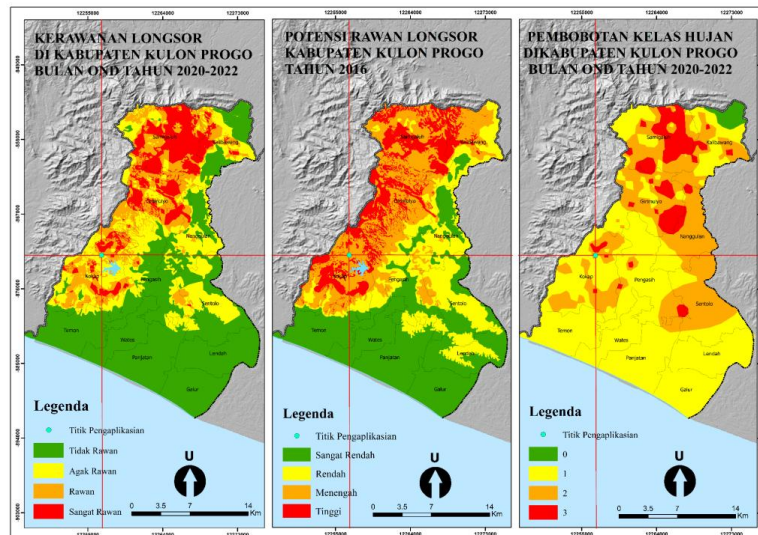
Berdasarkan Gambar 11. terdapat variasi sebaran klasifikasi tingkatan potensi rawan longsor yang beragam di wilayah Kulon Progo, DIY. Wilayah Kecamatan Samigaluh, Girimulyo, dan Kokap menjadi wilayah yang memiliki dominasi klasifikasi potensi rawan longsor tinggi dan menengah serta sedikit klasifikasi rendah. Ketiga kecamatan tersebut menjadi wilayah dengan potensi kejadian longsor yang paling tinggi. Kecamatan Kalibawang didominasi

Peta Kerawanan Longsor dihasilkan dari overlay antara interpolasi hasil skoring pembobotan data curah hujan satelit GSMAP pada setiap titik longsor (Gambar 10) dan data klasifikasi potensi longsor Balai Teknik Sabo DIY (Gambar 11). Data curah hujan diambil pada setiap titik longsor pada bulan Oktober, November, Desember tahun 2020-2022 yang kemudian di koreksi dan validasi dengan data observasi BMKG Stasiun Klimatologi D.I. Yogyakarta. Berdasarkan Gambar 12, diketahui bahwa mayoritas wilayah Kabupaten Kulon Progo bagian sisi timur tidak rawan terjadi bencana longsor. Namun, pada bagian barat wilayah Kulon Progo terdapat wilayah dengan hasil klasifikasi sangat rawan, rawan, dan agak rawan dan sedikit di bagian wilayah timur. Di wilayah barat Kulon Progo, yang termasuk ke dalam klasifikasi agak rawan lebih banyak dibandingkan dengan ketiga klasifikasi lainnya. Kabupaten yang memiliki tingkat kerawanan bencana tanah longsor sangat rawan terbanyak adalah Kecamatan Samigaluh. Tanah longsor di Kecamatan Samigaluh disebabkan oleh faktor kelerengan sebesar 33,3%, curah hujan 22,8%, litologi 17%, tata guna lahan 11,8%, kerapatan vegetasi 8,8% dan jenis tanah 5,8% [34]. Kecamatan Girimulyo menjadi kecamatan yang memiliki potensi tinggi terhadap terjadinya bencana tanah longsor [35]. Namun, setelah dilakukan komposit terhadap data GSMaP yang dilakukan dalam penelitian ini, Kecamatan Samigaluh menjadi kecamatan yang paling rawan terhadap terjadinya bencana longsor.

potensi rawan menengah dan rendah, namun masih terdapat klasifikasi potensi rawan tinggi di Kalibawang bagian barat. Kecamatan Lendah, Sentolo, Pengasih, dan Nanggulan didominasi klasifikasi potensi rawan sangat rendah - menengah. Bagian selatan Kabupaten Kulon Progo seperti wilayah Kecamatan Temon, Wates, Panjatan, dan Galur didominasi potensi rawan longsor yang sangat rendah.

Kondisi Wilayah Kulon Progo bagian barat didominasi oleh banyaknya morfologi Pegunungan Menoreh. Kompleks Pegunungan Menoreh menjadi salah satu penyebab tingginya curah hujan akibat terjadinya pembentukan hujan orografis [36]. Hubungan antara curah hujan dengan kondisi topografinya dipengaruhi oleh tiga proses antara lain adanya proses adiabatik, proses konvergensi horizontal, dan proses konvektif [37]. Curah hujan yang terus meningkat akibat dari terjadinya hujan orografis dapat disebabkan oleh sistematisa elevasi menoreh yang lebih tinggi, sehingga mendukung tingginya bencana longsor di kecamatan yang wilayahnya dekat dengan Pegunungan Menoreh sehingga termasuk ke dalam klasifikasi sangat rawan. Selain itu, hujan orografis tersebut juga menyebabkan wilayah yang berada di balik pegunungan atau wilayah timur Pegunungan Menoreh menjadi daerah yang rawan bencana tanah longsor.

Tingkat elevasi area dapat diperkuat dengan korelasi acuan nilai ambang curah hujan. Hasil integrasi peta pembobotan threshold hujan dengan potensi rawan longsor pada bagian sisi timur Kulon Progo yang meliputi Kecamatan Samigaluh, Kecamatan Girimulyo, dan sebagian Kecamatan Kokap memiliki klasifikasi rawan hingga sangat rawan. Hal ini disebabkan oleh dominasi curah hujan hasil koreksi yang melebihi acuan ambang batas hujan di hari H senilai 34.26 mm/hari serta pengaruh intensitas tiga atau sepuluh hari sebelum kejadian berlangsung. Oleh karena itu, representasi spasial dalam peta memiliki kesesuaian dengan data kerawanan longsor yang telah diolah.



Gambar 13. Integrasi Tiga Peta Pengaplikasian Ambang Batas Curah Hujan terkait Kerawanan Longsor, di Kulon Progo, DIY.

Pengaplikasian ambang batas curah hujan dapat dilakukan dengan penyesuaian kejadian longsor besar di Kabupaten Kulon Progo. Hal tersebut menjadi bukti kesesuaian kejadian longsor dengan threshold yang sudah ditentukan. Berdasarkan data *Pusat Data Emergency Operation* BPBD DIY diambil satu data longsor di Dusun Menguri, Kelurahan Hargotirto, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dengan titik koordinat 7°48'30,636" LS dan 110°6'12.494 BT sebagai sampel titik longsor. Kejadian longsor terjadi pada hari Jum'at, tanggal 18 November 2022 setelah hujan mengguyur wilayah Kokap. Longsor ini memiliki dimensi longsor dengan panjang 20 meter, tinggi 10 meter, dan lebar 7 meter. Kejadian longsor ini menyebabkan kerugian materil berupa rusaknya bangunan rumah warga karena tertimbun material longsor. Berdasarkan unduh data GSMaP diketahui nilai curah hujan sebanyak 69,36 mm dan menjadi 80,50 mm setelah dikoreksi. Nilai curah hujan tersebut apabila dibandingkan dengan curah hujan observasi yang memiliki curah hujan 87 mm menunjukkan bahwa CH GSMaP *underestimate* dengan nilai *error* RMSE yaitu 6,5. Curah hujan tanggal 18 November 2022 saat terjadi longsor yang bernilai 80,50 sudah melebihi ambang batas curah hujan Hari H penelitian dengan nilai 34,26 mm. Berdasarkan peta potensi rawan longsor dari Balai Sabo menunjukkan klasifikasi potensi rawan yang menengah. Kedua peta tersebut yang

digabungkan menjadi peta kerawanan longsor Kabupaten Kulon Progo Periode Oktober - Desember Tahun 2020 - 2022 kemudian menghasilkan klasifikasi kerawanan longsor kategori rawan. Pengaplikasian satu titik longsor dengan ketiga peta tersebut sudah representatif menggambarkan pengaruh ambang batas curah hujan pemicu longsor dengan kerawanan longsor yang terjadi.

Apabila dikaitkan dengan penelitian terdahulu, dapat berkorelasi pada analisis penentuan nilai ambang batas curah hujan penyebab longsor di Kapanewon Girimulyo, Kulon Progo [38]. Pada penelitian ini menggunakan data dan pengolahan yang sama yaitu dengan JAXA GSMaP, serta meliputi proses interpolasi spasial. Secara intensif, pada Kapanewon Girimulyo memiliki ambang batas curah hujan sebesar 32,08 mm selama acuan 3 hari, sedangkan keseluruhan Kulon Progo mendapatkan ambang batas curah hujan keseluruhan sebesar 34,26 pada curah hujan tepat pada kejadian longsor. Hasil yang dibandingkan tidak sepenuhnya sama karena adanya perbedaan skala, namun dapat dikorelasikan dengan curah hujan aktual. Apabila ditinjau pada penelitian ini dapat berhubungan, di mana hasil interpolasi hujan pada wilayah Kapanewon Girimulyo menunjukkan variasi skoring rendah, sedang, dan tinggi dengan tingkat kerawanan didominasi tinggi. Oleh karena itu, terdapat pendugaan atas pengaruh curah hujan yang melampaui ambang

batas serta potensi rawan longsor yang saling memengaruhi pada setiap titik inventarisasi.

Semakin tinggi nilai ambang batas curah hujan maka semakin tinggi kerawanan longsor yang terjadi di suatu wilayah [39]. Hal ini berkorelasi dengan hasil interpretasi dari 3 peta yang dibandingkan. Apabila suatu titik inventarisasi longsor memiliki skoring pembobotan kelas curah hujan menunjukkan kelas tinggi dari interpolasi ambang batas hari H sebesar 34,26 mm, lalu H-3 sebesar 85,61 mm, dan H-10 sebesar 188,54 mm. Kemudian pada potensi rawan longsor yang meliputi kemiringan lereng, jenis tanah, struktur batuan, dan lain sebagainya menunjukkan kriteria tinggi juga, maka pada peta kerawanan longsor di Kabupaten Kulon Progo juga tinggi pula.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengacu pada 387 titik longsor di Kabupaten Kulon Progo yang dikoreksi biasanya untuk mengidentifikasi overestimate atau underestimate dalam skala harian. Setelah koreksi, nilai error dihitung dan zona waktu disesuaikan guna memastikan akurasi data. Nilai curah hujan (CH) yang telah disesuaikan diklasifikasikan berdasarkan intensitasnya, lalu digunakan dalam perhitungan threshold pemicu longsor. Setiap kelas CH diberi bobot sesuai pengaruhnya terhadap longsor, diikuti pengolahan klasifikasi dan interpolasi untuk memperhalus distribusi spasial. Selanjutnya, dilakukan integrasi spasial dengan data Balai Sabo DIY guna menghasilkan peta kerawanan bencana untuk analisis dan mitigasi risiko longsor.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa intensitas curah hujan sangat mempengaruhi terjadinya bencana tanah longsor yang ditunjukkan dengan distribusi nilai jumlah curah hujan historis ketika melebihi ambang batas maka akan menyebabkan tanah longsor yang lebih banyak. Nilai curah hujan GSMaP di setiap titik longsor di Kabupaten Kulon Progo selama periode Oktober hingga Desember 2020–2022 dilakukan berdasarkan klasifikasi H+0, H-3, dan H-10 sebelum kejadian longsor. Langkah selanjutnya, dilakukan analisis median untuk menentukan ambang batas curah hujan sebagai pemicu longsor dengan hasil sebesar 34,26 mm pada Hari H, 85,61 mm pada H-3, dan 188,54 mm pada H-10. Daerah rawan longsor di Kabupaten Kulon Progo berada di Kecamatan Samigaluh, Girimulyo, dan Kokap.

Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Hamdi, 2023), Kapanewon Girimulyo memiliki ambang batas curah hujan yang tercatat sebesar 32,08 mm dalam periode tiga hari, sedangkan di seluruh Kulon Progo memiliki ambang batas mencapai 34,26 mm saat kejadian longsor. Meskipun terdapat perbedaan skala, hasil ini tetap dapat dikorelasikan dengan curah hujan aktual. Interpolasi hujan di Kapanewon Girimulyo menunjukkan variasi skor rendah, sedang, dan tinggi, dengan dominasi tingkat kerawanan tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa curah hujan yang melebihi ambang batas berkontribusi terhadap potensi longsor pada titik-titik inventarisasi. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian terdahulu, yakni Kapanewon Girimulyo tetap memiliki tingkat kerawanan yang tinggi meskipun skala yang digunakan dalam penelitian ini lebih besar.

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pemilihan satelit yang digunakan dalam acuan data untuk ambang batas curah hujan kurang detail namun dapat mencakup wilayah kajian yang lebih luas jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Hamdi, 2023). Penyempurnaan penelitian ini agar dapat dalam merepresentasikan data sebenarnya diperlukan parameter tambahan berupa alat lapangan (Misol) serta kalkulasi data hujan dari satelit lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan pada seluruh pihak yang telah membantu dalam terselenggaranya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami berikan secara khusus kepada Stasiun Klimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Daerah Istimewa Yogyakarta serta Badan Penanggulangan Bencana (BPBD) Daerah Istimewa Yogyakarta. Ucapan terima kasih kami ucapkan pula pada seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Semoga dengan dilakukannya riset ini, dapat berkontribusi untuk ilmu pengetahuan klimatologis terkait serta penanganan bencana di Indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] Rahman, A. Z. (2015). Kajian mitigasi bencana tanah longsor di Kabupaten Banjarnegara. *Gema Publica: Jurnal Manajemen dan Kebijakan Publik*, 1(1), 1-14.
- [2] Hidayat, R., & Zahro, A. A. (2018). Identifikasi Curah Hujan Pemicu Longsor di Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu Hulu-Banjarnegara. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS IX 2018*.
- [3] Agustina, L., Syawreta, A., & Irawan, A. M. (2020). Analisis Ambang Batas Hujan untuk Pengembangan Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor: Studi Kasus

- Kecamatan Pejawaran, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 11(1), 75-81.
- [4] Frananda, F. (2021). Geologi dan Kestabilan Lereng dalam Pemetaan Zonasi Longsor di Desa Seberang dan Sumur Gedang, Kecamatan Pesisir Bukit, Kota Sungai Penuh, Jambi (*Doctoral dissertation, Teknik Geologi*).
- [5] Badan Penanggulangan Bencana Daerah DIY. (2023). Bencana Tanah Longsor di Yogyakarta Terus Meningkat Setiap Tahun. BPBD DIY. Yogyakarta: Republika. Retrieved November 24, 2023, from <https://news.republika.co.id/berita/rpptdv463/bencana-tanah-longsor-di-yogyakarta-terus-meningkat-setiap-tahun>.
- [6] Ruslanjari, D., Permana, R. S., & Wardhana, F. (2020). Kondisi kerentanan dan ketahanan masyarakat terhadap bencana tanah longsor di Desa Pagerharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 26(1), 23-39.
- [7] Priyono, I., & MM, S. S. (2022). *Kumpulan Informasi Terutama Tentang Bencana Tanah Longsor dan Banjir Serta Upaya Mitigasinya*. Unisri Press.
- [8] Tidar, Y. H., Muryani, C., & Ahmad, A. (2022). Strategi Pengembangan Ekowisata Berkelanjutan di Kawasan Objek Wisata Pantai Kebumen Kulon Progo Tahun 2021. *Indonesian Journal of Environment and Disaster*, 1(1), 83-106.
- [9] Kementerian Lingkungan Hidup. (2007). Analisis Potensi Bencana Alam KLH. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Laporan Akhir Geospasial Menlh.
- [10] Muntohar, A.S. (2009). Proposal Ambang Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor. *Application Research for Disaster and Humanitarian*. University Club UGM.
- [11] Crow, W. T., van Den Berg, M. J., Huffman, G. J., & Pellarin, T. (2011). Correcting rainfall using satellite-based surface soil moisture retrievals: The Soil Moisture Analysis Rainfall Tool (SMART). *Water Resources Research*, 47(8).
- [12] Pemkab Kulon Progo. (2020). Kondisi Umum Kabupaten Kulon Progo. Daerah Istimewa Yogyakarta: Pemerintah Kabupaten Kulon Progo.
- [13] Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: ALFABETA.
- [14] Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; and Black, W. C., 1998. *Multivariate Data Analysis, Fifth edition, Prentice Hall International, Inc.*, Upper Saddle River, New Jersey.
- [15] Junaeni, I., Yuliani, D., Ayahbi, R., & Hardjana, T. (2010). Pengelompokan Wilayah Curah Hujan Kalimantan Barat Berbasis Metode Ward dan Fuzzy Clustering. *Jurnal Sains Dirgantara*, 7(2).
- [16] Abdullah, Rehman, U.H., & Mirza, A. M. (2020). Statistical Analysis and Bias Correction of GSMaP Satellite Rainfall Data for Flash Floods Modelling over the Basin of Ravi River, Pakistan. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(5), 545-557.
- [17] Saber, M., & Yilmaz, K. K. (2018). Evaluation and bias correction of satellite-based rainfall estimates for modelling flash floods over the Mediterranean region: application to Karpuz River Basin, Turkey. *Water*, 10(5), 657.
- [18] Tesfagiorgis, K., Mahani, S. E., Krakauer, N. Y., & Khanbilvardi, R. (2011). Bias correction of satellite rainfall estimation using a radar-gauge product.
- [19] Kristanti, E., Nopiyantri, A. D., & Tjiptanto, G. (2022). Perbandingan Pengukuran Curah Hujan Ph Obs Standar WMO Terhadap Ph Obs Berbeda Ketinggian dan Modifikasi di Stasiun Klimatologi Kalimantan Selatan. *Buletin Meterologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(5), 12-20.
- [20] BMKG. (2023). Probabilistik Curah Hujan 20 mm 24 jam dalam Informasi Cuaca. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- [21] USACE: U.S. Army Corps of Engineers, 1997. *Reliability Analysis of Miter Gates Lock and Dam Z2*, Rock Island District, Rock Island, IL.
- [22] Chleborad, A. F., 2000. Preliminary Method for Anticipating the Occurrence of Precipitation induced Landslide in Seattle, Washington, Science for a changing word (USGS).
- [23] Hidayat, R., & Zahro, A. A. (2020). Penentuan ambang curah hujan untuk memprediksi kejadian longsor. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(1), 1-10.
- [24] NCGIA. (2007). Interpolation: Inverse Distance Weighting. Retrieved November 25, 2023, from <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/spherekit/inverse.html>
- [25] Canli, E., Loigge, B., & Glade, T. (2018). Spatially distributed rainfall information and its potential for regional landslide early warning systems. *Natural hazards*, 91, 103-127.
- [26] Bolstad, P., (2016). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*. Edisi ke-5. XanEdu. Massachusetts. USA.
- [27] Ma, M., Wu, Y., Chen, L., Li, J., dan Jing, N. 2019. Interactive and Online Buffer-Overlay Analytics of Large-Scale Spatial Data. *International Journal of Geo-Information*. 8(21): 1-14
- [28] Ruslana, Z. N., Tresnawati, R., Rosyidah, R., Harmoko, I. W., & Siswanto, S. (2021). Reliabilitas Prediksi Curah Hujan Dasarian Pada Kejadian Curah Hujan Ekstrem Pemicu Banjir 26 Oktober 2020 di Kebumen: Model Statistik (HyBMG) versus Model Dinamik (ECMWF). *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 4(2), 83-100.
- [29] Wibowo, Y. A. (2010). Evaluasi Curah Hujan GSMAP dan TRMM TMPA dengan Curah Hujan Permukaan Wilayah Jakarta-Bogor.[Skripsi]. *Institut Pertanian Bogor, FMIPA. Bogor*.
- [30] Dasanto, B. D., Boer, R., Pramudya, B., & Suhamoto, Y. (2014). Evaluasi curah hujan TRMM menggunakan pendekatan koreksi bias statistik. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 38(1), 15-24.
- [31] Cheng, Q., Chen, X., Chen, X., Zhang, Z., & Ling, M. (2011). Water infiltration underneath single-ring permeameters and hydraulic conductivity determination. *Journal of Hydrology*, 398(1-2), 135-143.
- [32] Hidayat, R. (2020). Analisis Numerik Pengaruh Infiltrasi Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Di Pangkalan, Sumatera Barat. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(1), 25-36.
- [33] Satya, G., Andriawan, A. H., Ridho'i, A., & Seputro, H. (2014). Intensitas curah hujan memicu tanah longsor dangkal di Desa Wonodadi Kulon. *JPM17: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(01), 65-71.
- [34] Apriani, A., Putra, B. P., Alfariji, M., Al Habib, J., & Trisnaning, P. T. (2022). Analytic Hierarchy Process pada Evaluasi Kejadian Longsor di Kecamatan Samigaluh Kulon Progo, DI Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 13(2).
- [35] Suroso, I. (2018). Analisis Pemetaan Daerah Rawan Banjir Dan Longsor Dengan Drone Type Multicopter Di Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 5(1), 34-43.
- [36] Adji, T. N., Afifudin, A., Haris, A. N., Indrastuti, A. N., Purwanto, D., Kintoro, F. S., ... & Astabella, R. D. (2022). Kajian Kerentanan Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Wates Kabupaten Kulon Progo. *Media Komunikasi Geografi*, 23(1), 25-43.
- [37] Prayuda, D. D. (2015). Analisis Karakteristik Intensitas Hujan di Wilayah Lereng Gunung Merapi. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 1(1), 14-19.
- [38] Hamdi, R. R. (2023). *Penentuan Nilai Ambang Batas (Threshold) Curah Hujan Penyebab Longsor di Kapanewon Girimulyo, Kulon Progo* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [39] Ma'ruf, J. (2017). Model Spasial Deteksi Dini Tanah Longsor dengan Metode Exponential Smoothing Memanfaatkan Google API: Studi Kasus Provinsi Jawa Tengah (Doctoral dissertation, Program Studi Teknik Informatika FTI-UKSW).