

Analisis Spasial dan Pemetaan Tingkat Kerawanan Fisik Alami Tanah Longsor Menggunakan Data Geospasial Citra Satelit Tahun 2023

(Studi Kasus : Kabupaten Bogor)

Yuli Arindah (222112423, 4SD2)

Dosen Pembimbing: Dr. Ernawati Pasaribu, S.Si., M.E.

Ringkasan— Indonesia merupakan salah satu negara dengan risiko bencana tertinggi di dunia, termasuk bencana tanah longsor. Kabupaten Bogor di Provinsi Jawa Barat mencatatkan jumlah kejadian tanah longsor tertinggi antara 2019-2023. Tanah longsor dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti faktor geomorfologi, faktor geologi, faktor hidrologi, faktor antropologis, curah hujan, dan jenis tanah. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerawanan fisik alami tanah longsor, menganalisis spasial sebaran zona rawan, mengevaluasi dampaknya terhadap fasilitas umum, dan menyajikan hasil dalam bentuk dashboard web. Metode penelitian menggunakan pendekatan Fuzzy Logic untuk memetakan tingkat kerawanan fisik alami berdasarkan parameter penyebab seperti curah hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan, jenis tanah, dan ketinggian. Analisis spasial dilakukan dengan menggunakan teknik buffer dan Thiessen polygon untuk mengidentifikasi zona dampak terhadap fasilitas umum. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa peta tingkat kerawanan fisik alami tanah longsor, analisis spasial sebaran daerah rawan, serta risiko yang ditimbulkan tanah longsor yang dapat menjadi acuan strategis untuk mitigasi bencana oleh pemerintah daerah. Hasil penelitian diharapkan mampu meningkatkan efisiensi mitigasi bencana serta melindungi penduduk di wilayah berisiko tinggi.

Kata Kunci— Fuzzy Logic, tanah longsor, spasial, kerawanan fisik alami, dampak.

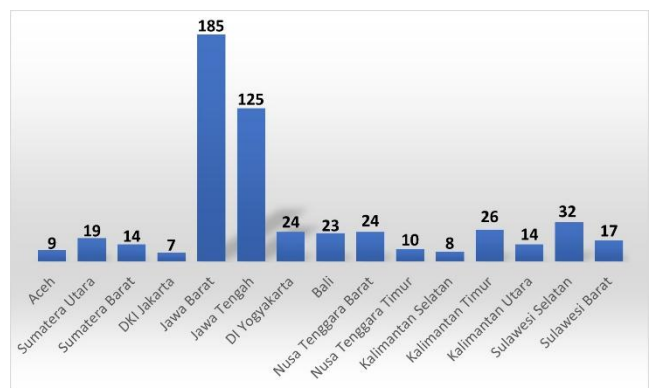
I. LATAR BELAKANG

Tingkat kerawanan adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan atau zona dapat mengalami bencana longsor, serta besarnya korban dan kerugian bila terjadi bencana longsor yang diukur berdasarkan aktifitas manusia dan Tingkat kerawanan fisik alami. Tingkat kerawanan fisik alami adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan kejadian longsor yang diindikasikan oleh faktor-faktor kemiringan lereng, kondisi tanah, batuan penyusun lereng, curah hujan, keairan lereng, dan kegempaan [1]. Penilaian kerawanan dapat diukur dengan teknik kuantitatif, teknik kualitatif, dan teknik semi-kuantitatif [2]. Penilaian kerawanan fisik alami dapat digunakan untuk mengurangi tingkat kerugian dan jumlah penduduk yang terpapar akibat terjadinya bencana alam sehingga pemerintah dapat melakukan perencanaan mitigasi pada kawasan prioritas bencana [3].

Berdasarkan World Risk Report 2024, negara Indonesia merupakan negara kedua yang masuk ke dalam sepuluh golongan negara dengan indeks resiko bencana tertinggi setelah negara Filipina [4]. Kondisi tersebut dapat disebabkan karena secara tektonis, Indonesia menjadi tempat bertemunya tiga lempeng tektonik dunia yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan

Pasifik. Secara vulkanis, Indonesia merupakan jalur gunung api aktif atau yang dikenal sebagai Pasific Ring of Fire [5]. Secara hidroklimatologis, Indonesia terdampak karena adanya fenomena ENSO (El-Nino Southern Oscillation) dan La Nina [6].

Pada beberapa wilayah di Indonesia, kejadian bencana alam dapat terjadi di setiap tahunnya. Bahkan dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia mengalami berbagai bencana alam yang berbeda-beda, seperti banjir, gunung berapi, cuaca ekstrem, tanah longsor, dan lain sebagainya. Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui terdapat 15 provinsi yang paling banyak mengalami bencana tanah longsor pada tahun 2023. Provinsi yang mengalami bencana tanah longsor paling banyak yaitu Provinsi Jawa Barat dengan 185 bencana tanah longsor. Provinsi Jawa Tengah berada pada posisi kedua dengan bencana tanah longsor paling banyak yaitu sebanyak 125 bencana tanah longsor. Selanjutnya, Provinsi Sulawesi Selatan merupakan provinsi ketiga dengan jumlahbencana tanah longsor paling banyak terjadi yaitu sebanyak 32 bencana tanah longsor.



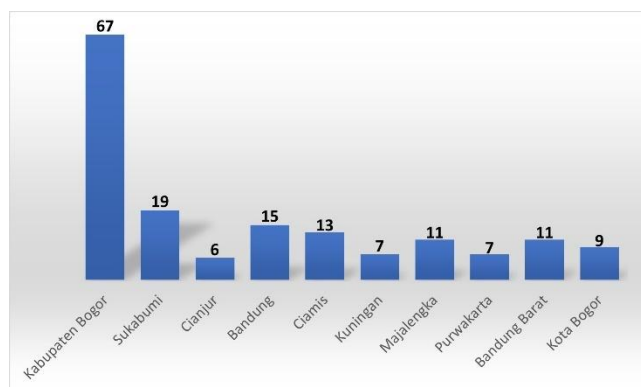
Sumber : Badan Pusat Statistik.

Gambar 1. Frekuensi Kejadian Tanah Longsor Paling Banyak Menurut Provinsi di Indonesia Tahun 2023.

Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi tinggi dalam terjadinya bencana tanah longsor [7]. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, Provinsi yang mengalami kejadian tanah longsor paling banyak adalah Provinsi Jawa Barat yaitu sebanyak 1.560 kejadian dari tahun 2019-2023. Hal ini dapat disebabkan karena topografi yang dimiliki Provinsi Jawa Barat. Provinsi Jawa Barat memiliki topografi wilayah pegunungan curam (9,5 persen) pada bagian selatan dengan ketinggian 1.500 m di atas permukaan laut, wilayah lereng bukit yang landai (36,48 persen) di bagian tengah dengan ketinggian 10-1.500 mdpl, wilayah dataran

landai (52,02 persen) di bagian utara dengan ketinggian 0-10 mdpl, dan wilayah aliran sungai. Selain itu, tingginya tingkat kepadatan penduduk di wilayah perbukitan dapat menimbulkan tekanan terhadap ekosistem [7]. Berdasarkan hasil Sensus Penduduk 2020, Provinsi Jawa Barat merupakan daerah dengan jumlah penduduk terbesar di Indonesia, yaitu mencapai 48,27 juta jiwa dan ekuivalen dengan 17,86 persen dari total penduduk Indonesia [8].

Menurut data Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Kabupaten Bogor berada di peringkat pertama sebagai kabupaten dengan jumlah kejadian tanah longsor paling banyak yaitu sebanyak 434 kejadian dari tahun 2019-2023 di Provinsi Jawa Barat. Hal ini disebabkan karena Kabupaten Bogor memiliki letak geografis yang sebagian besar berupa dataran tinggi, perbukitan, pegunungan, serta memiliki curah hujan tinggi dan dialiri enam Daerah Aliran Sungai [9]. Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui bahwa Kabupaten Bogor merupakan kabupaten dengan bencana tanah longsor paling banyak pada Provinsi Jawa Barat di tahun 2023 yaitu sebanyak 67 kejadian. Analisis spasial dan pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor berkelanjutan dapat membantu dalam merencanakan strategi mitigasi menjadi lebih terfokus dan tepat sasaran sehingga dapat melindungi warga di masa depan.



Sumber : Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

Gambar 2. Frekuensi Kejadian Tanah Longsor Paling Banyak Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Barat Tahun 2023.

Dalam dekade terakhir, pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor telah menjadi bagian esensial dari penilaian bahaya dan manajemen darurat, sehingga memicu banyak penelitian yang mendalami bidang pemetaan kerawanan fisik alami bencana khususnya tanah longsor [10]. Menurut undang-undang nomor 24 tahun 2007 tentang penanggulangan bencana, tanah longsor adalah salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran keduanya, menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Tanah longsor dapat disebabkan dari berbagai faktor seperti faktor geomorfologi, faktor geologi, faktor hidrologi, faktor antropologis, curah hujan, dan jenis tanah. Untuk menentukan model yang tepat dalam pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor, diperlukan metode awal yang mampu memberikan bobot pada faktor-faktor yang diperkirakan menjadi penyebab tanah longsor. Harapannya, faktor-faktor yang masuk ke dalam model estimasi adalah faktor-faktor dengan bobot tinggi atau yang memiliki pengaruh

signifikan terhadap terjadinya tanah longsor. Adapun untuk pembobotannya dapat mengacu pada penelitian terkait. Kemudian dilanjutkan dengan membuat pemodelan kerawanan fisik alami tanah longsor menggunakan metode fuzzy logic dan melakukan analisis spasial menggunakan analisis buffer dan thiessen polygon.

BNPB memanfaatkan sumber informasi yang berasal dari laporan BPS seperti provinsi/kabupaten dalam angka, PODES, Susenas, PPLS, dan PDRB untuk menganalisis kerawanan fisik alami bencana [11]. Penggunaan data dari laporan BPS sering kali terbatas hingga level provinsi atau kabupaten dan tidak mencapai detil desa/kelurahan untuk menganalisis kerawanan fisik alami bencana yang akurat. Padahal informasi granular tersebut esensial untuk membuat peta kerawanan fisik alami bencana yang lebih rinci. Apabila ingin mendapatkan data hingga level tertentu yang diinginkan, dapat dilakukan dengan mengadakan data tambahan melalui survei langsung yang membutuhkan biaya besar. Oleh karena itu, pemanfaatan citra satelit melalui teknologi penginderaan jarak jauh yang didukung dengan data geospasial memungkinkan analisis yang mendalam tanpa beban biaya yang besar. Pendekatan ini dapat memberikan solusi bagi pemerintah dalam meningkatkan akurasi peta kerawanan fisik alami bencana dengan biaya yang efisien.

Bencana tanah longsor yang tidak ditangani dengan serius dapat menjadi ancaman dan berpotensi menimbulkan kerusakan yang fatal. Bencana tanah longsor di suatu wilayah dapat menyebabkan kerugian besar, termasuk hilangnya nyawa, harta benda, dan infrastruktur umum. Pemulihan kerusakan yang terjadi akibat tanah longsor dapat memakan biaya yang besar apabila pemerintah tidak melakukan upaya mitigasi yang preventif untuk mencegah bencana tanah longsor dan mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh tanah longsor. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dalam rangka menganalisis dan memetakan kerawanan fisik alami tanah longsor di Kabupaten Bogor secara granular sehingga dapat dijadikan acuan pemerintah dalam melakukan upaya mitigasi bencana tanah longsor. Dari model kerawanan fisik alami tanah longsor yang diperoleh, maka dilanjutkan dengan pembuatan peta kerawanan fisik alami tanah longsor melalui pengolahan setiap grid di Kabupaten Bogor. Peta kerawanan fisik alami tanah longsor ini bertujuan untuk menunjang hasil penelitian yang dapat membantu dalam melakukan perencanaan mitigasi untuk wilayah yang diprediksi memiliki kerawanan fisik alami tanah longsor yang tinggi. Lokus penelitian ini mengambil Kabupaten Bogor yang berada di Provinsi Jawa Barat sebagai fokus wilayah pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor. Dengan demikian, bagi pemerintah daerah dapat memberikan informasi yang tepat sekaligus melakukan evaluasi dan realokasi penduduk yang tinggal di daerah yang rawan tanah longsor. Penelitian mengenai pemetaan tanah longsor pada umumnya hanya berfokus pada pemetaan wilayah rawan dan perbandingan antar metode analisis. Namun, pemetaan yang tidak hanya mengidentifikasi wilayah kerawanan fisik alami tetapi juga memperluas untuk menganalisis sebaran zona rawan serta risiko terhadap fasilitas penting di suatu wilayah masih jarang dilakukan. Biasanya, dalam banyak jurnal, peneliti lebih

berfokus pada satu aspek analisis saja, seperti hanya melakukan pemetaan sebaran zona rawan tanah longsor tanpa memperhatikan dampak lebih lanjut terhadap wilayah sekitarnya atau hanya meneliti risiko dampak tanah longsor terhadap fasilitas umum tanpa memetakan terlebih dahulu sebaran kerawanan fisik alaminya. Pendekatan-pendekatan ini cenderung terpisah dan kurang terintegrasi. Sehingga, penelitian ini dilakukan untuk memetakan kerawanan fisik alami tanah longsor dengan mengintegrasikan analisis dampak terhadap fasilitas umum.

II. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Memodelkan kerawanan fisik alami tanah longsor berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi.
2. Menganalisis spasial sebaran daerah rawan bencana tanah longsor.
3. Menganalisis dampak kerawanan fisik alami bencana tanah longsor.
4. Membangun suatu *web dashboard* yang berguna dalam menyajikan peta hasil penelitian.

III. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian mengenai pemetaan tanah longsor sudah pernah dilakukan dengan berbagai metode. Sebagian besar peneliti menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif. Terdapat penelitian terkait identifikasi potensi tanah longsor yang dilakukan oleh Rizki Malik Akbar dan Akbar Kurniawan [12] yang bertujuan untuk memanfaatkan data citra satelit multi temporal ke dalam metode pembobotan dari setiap parameter guna mengetahui wilayah yang berpotensi bencana tanah longsor di lereng Gunung Bromo Kabupaten Pasuruan. Selanjutnya penelitian oleh Muhammad Afaq Husain *et al* [13] melakukan penelitian yang terfokus pada identifikasi tanah longsor dan pembuatan inventarisasi tanah longsor yang diperbarui di sepanjang jalan raya Karakoram menggunakan penggabungan data multisumber antara citra satelit aktif, citra satelit pasif, dan peta geologi. Pemanfaatan SBAS-InSAR dan PS-InSAR digunakan untuk memberikan inventarisasi terkini tanah longsor dengan deformasi lereng sedangkan pemanfaatan *machine learning* dan *deep learning* digunakan untuk membuat model kerawanan fisik alami tanah longsor yang menyelidiki

hubungan antara kejadian longsor dan variabel penyebabnya. Masih berbicara tentang potensi terjadinya tanah longsor, penelitian yang dilakukan oleh Christanti Ekklesia Supit dan Sri Yulianto Joko Prasetyo [14] untuk mengidentifikasi potensi tanah longsor di Kabupaten Kudus dengan pemanfaatan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Pada tahun 2021, Regina Febryzha Sawitri *et al* [15] masih melakukan penelitian serupa yakni zonasi daerah rawan longsor menggunakan metode skoring dan pembobotan yang dilakukan di Kabupaten Bandung. Serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Danang Dwi Nugroho dan Hary Nugroho [16] tentang analisis kerawanan fisik alami tanah longsor dengan data DEM Nasional yang menggunakan metode *Frequency Ratio* di Kabupaten Bandung Barat. Penelitian selanjutnya lebih terfokus pada analisis pola potensi tanah longsor di suatu wilayah seperti yang dilakukan Lisa Triwahyuni *et al* [17] yaitu menganalisis pola wilayah yang berpotensi terhadap bencana tanah longsor berdasarkan metode SMORPH dan SINMAP yang divalidasikan dengan lokasi kejadian longsor di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sedikit berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Sandeep Panchal dan Amit Kr. Shrivastava [2] yang terfokus pada penilaian bahaya longsor yang menggabungkan data citra satelit dengan survei lapangan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) di Jalan Raya Nasional 5, India. Penelitian selanjutnya yang sedikit lebih unik karena memanfaatkan teknik *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dilakukan oleh Akmelliona dan Dian Adhetya Arif [18] yang bertujuan untuk melakukan pemetaan kerawanan bencana tanah longsor yang memberikan citra resolusi spasial tinggi di Jalur Sitinjau Lauik Padang-Solor. Masih mengenai pemetaan, penelitian selanjutnya dilakukan oleh Arief Yusuf Effendi dan Teguh Hariyanto [19] untuk membuat peta potensi bahaya tanah longsor menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini menggunakan metode *soft computing* yaitu dengan pemanfaatan metode *Fuzzy logic* untuk menentukan tingkat kerawanan tanah longsor dengan menggunakan parameter penyebab tanah longsor yaitu curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, ketinggian, dan tutupan lahan yang dilakukan di Kabupaten Probolinggo. Terdapat penelitian terkait Pada Tabel 1 berikut disajikan perbandingan penelitian terkait yang telah dibahas pada bagian ini agar memudahkan pembaca dalam memahami perbedaan setiap penelitiannya.

TABEL I
TABEL LITERATUR

N o	Judul	Pengarang dan Tahun	Tujuan	Metode dan Lokasi Studi	Data dan Sumber Data	Hasil
1	Aplikasi Citra Landsat untuk Pemetaan Daerah Rawan Longsor di Kabupaten Bandung	Regina Febryzha Sawitri, Dzulfikar Baco Azhar, Risa Ulfyana, Toto Karsius Karo-Karo (2021) [15].	Untuk menyusun peta risiko bencana tanah longsor dengan aplikasi citra Landsat dan mengetahui daerah mana saja yang termasuk ke dalam daerah risiko bencana longsor di	Metode yang digunakan merupakan kombinasi dari <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Self-Organizing Map</i> (SOM), <i>Isometric Feature Mapping</i> (Isomap), dan <i>Technique for Order Preference by</i>	-Citra Satelit Landsat 8 path/row 121/65 tahun 2020 (USGS) -DEM SRTM -Peta Digital Rupa Bumi Indonesia (RBI) wilayah Kabupaten Bandung skala 1:25.000	Dibandingkan dengan metode pemeringkatan tradisional dalam penilaian risiko bencana regional, metode yang diusulkan ini dapat mengenali kesamaan wilayah, mengeksplorasi struktur pengelompokan tertanam,

<i>No</i>	<i>Judul</i>	<i>Pengarang dan Tahun</i>	<i>Tujuan</i>	<i>Metode dan Lokasi Studi</i>	<i>Data dan Sumber Data</i>	<i>Hasil</i>
			Kabupaten Bandung	<i>Similarity to an Ideal Solution</i> (TOPSIS) untuk pengambilan keputusan. Lokasi studi : Kabupaten Bandung, Jawa Barat.	-Data Curah Hujan -Geologi Lembar Cianjur Skala 1:100.000 -Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru Skala 1:100.000	memvisualisasikan data regional berdimensi tinggi, menguji pengaruh indikator, dan membentuk peringkat daerah dalam hal risiko bencana.
2	Pemanfaatan Informasi Spasial Berbasis SIG Untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor di Kecamatan Sumalata	La Ode Juni Akbar , Dewi Sartika T. Zees , Bambang Djau (2024) [20] .	untuk mengetahui daera-daerah potensi berbahaya dan beresiko tinggi bencana tanah longsor	Analisis data yang digunakan merupakan analisis spasial dengan Teknik superimpose (overlay) menggunakan tools SIG untuk visualisasi data. Memanfaatkan <i>tools</i> SIG <i>spatial analysis</i> yang terdiri dari <i>union</i> , <i>intersect</i> , <i>clip</i> , dan <i>dissolve</i> kemudian melakukan penskoran dan pembobotan pada parameter yang telah diinput serta dalam tahap akhir akan ditampilkan dalam visualisasi peta. Lokasi studi : Kecamatan Sumalata	<ul style="list-style-type: none"> Parameter: -Penutupan lahan -> Interpretasi citra satelit dan dilakukan pengecekan lapangan -Curah hujan -> Pengambilan data stasiun meteorologi->Menganalisis data curah hujan dengan menggunakan metode Isohyet -Kemiringan lereng -> Peta lereng melalui interpretasi analisis citra DEM SRTM -Jenis tanah -> Diperoleh melalui peta jenis tanah -Jenis batuan dan struktur -> Diperoleh melalui interpretasi peta geologi daerah penelitian • BPBD Kabupaten Jepara (2019) : Data kejadian bencana Kabupaten Jepara (*.shp) dan kepadatan rumah. 	Berdasarkan hasil analisis 5 parameter kerawanan longsor wilayah Kecamatan Sumalata diperoleh 3 kritesia kerawanan longsor, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi. Daerah dengan potensi longsor rendah berdasarkan hasil analisis yaitu kelas rendah luas 49.304 Ha, kelas sedang dengan luas 13.409,71 Ha dan kelas tinggi dengan luas 16.921,36 Ha.
3	<i>Analisis Spasial Wilayah Potensi Longsor dengan Metode SINMAP dan SMORPH di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta</i>	Lisa Triwahyuni, Sobirin , dan Ratna Saraswati (2017) [17].	untuk menganalisis pola wilayah yang berpotensi terhadap bencana tanah longsor di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan metode SMORPH dan SINMAP. Menganalisis perbedaan wilayah potensi longsor pada metode SINMAP dan SMORPH yang divalidasi dengan lokasi kejadian longsonya.	Algoritma <i>Gradient Boosting Machine</i> (GBM), XGBoost, <i>Rotation Forest</i> (RTF), SVM, dan Naïve Bayes. Lokasi studi : Pesisir utara Tamil Nadu yang terdiri dari lima distrik (Chennai, Tiruvallur, Kanchipuram, Villupuram, dan Cuddalore) dan wilayah persatuan (Pondicherry).	-Landsat 8 dari GEE :LULC, NDVI. - <i>Chirps from GEE</i> : Data curah hujan. -SRTM : DEM, TWI, SPI, TRI, STI, kemiringan, profil, dan rencana kelengkungan. - <i>Land Processes Distributed Active Archive Center</i> : Data aspek dan angin.	Algoritma GBM memberikan hasil yang terbaik diantara empat algoritma lainnya. Berdasarkan hasil penelitian, faktor utama penyebab banjir adalah urbanisasi dan penebangan hutan liar yang merusak daerah resapan air.

<i>No</i>	<i>Judul</i>	<i>Pengarang dan Tahun</i>	<i>Tujuan</i>	<i>Metode dan Lokasi Studi</i>	<i>Data dan Sumber Data</i>	<i>Hasil</i>
4	A Multistage Technique to Minimize Overestimations of Slope Susceptibility at Large Spatial Scales	Avalon Cullen C, Kashuk S, Suhili R, Khanbilvardi R, Temimi M (2016) [21]	Untuk menjembatani kesenjangan skala dengan memanfaatkan inventarisasi tanah longsor.	Menggunakan teknik multistage yang menjembatani kesenjangan antara pemetaan tanah longsor pada skala besar dan lokal dengan pemanfaatan analisis buffer	-Jenis tanah : Harmonize World Soil Database Version (HWSD) -Tutupan lahan : Basis Data FAO Global Land-cover Share resolusi 1 km, MODIS-LNDCR -Kemiringan Lereng : Data ASTER GDEM	Berdasarkan hasil penelitian, model yang terbentuk untuk memprediksi jumlah kasus tertinggi dengan benar yaitu 97,2% serta ambang batas yang paling sesuai adalah T99 dikarenakan menghasilkan model yang paling sesuai.
5	Fuzzy Logic Method Design for Landslide Vulnerability	Made Dandy Wardhana, Aghus Sofwan, Iwan Setiawan (2019) [22].	Untuk menerapkan logika fuzzy pada sensor pendeteksi tanah longsor sehingga lebih mudah mengetahui area yang rawan terjadi longsor.	Memanfaatkan metode Fuzzy untuk sistem deteksi dini longsor. Proses Fuzzy terdiri dari tiga tahap, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi.	-Kelembaman tanah -Kemiringan tanah -Kelembaman udara -Suhu Sumber Data: Data dikumpulkan melalui alat menggunakan beberapa sensor dan data yang diperoleh selama 9 jam berupa data sensor.	Pemukiman zona merah dengan radius 100 meter dari pipa minyak dan gas berada pada desa Jayawinangun, Kedokan Agung, Kedokanbunder, dan Kedokan Wetan. Pemukiman zona kuning yaitu dengan radius 300 meter dari pipa minyak dan gas terdapat pada desa Jayawinangun, Cangkingan, Kedokan agung, Kedokan bunder, dan Kedokan Wetan. Sementara pemukiman zona hijau atau radius 500 meter dari pipa minyak dan gas terdapat pada desa Jayawinangun, Cangkingan, Kedokanagung, Kedokan bunder, dan Kedokan Wetan.
6	Metode Thiessen Polygon untuk Ramalan Sebaran Curah Hujan Periode Tertentu pada Wilayah yang Tidak Memiliki Data Curah Hujan	Dewi Handayani Untari Ningsih (2012) [23]	Untuk meramalkan sebaran curah hujan menggunakan aplikasi berbasis system informasi geografi yang bisa ditampilkan sebagai peta rata-rata curah hujan dalam setiap bulannya.	-Thiessen Polygon -Metode Spasial Interpolasi Untuk Data Curah Hujan -Metode Analisis Kawasan Curah Hujan Lokasi: Kabupaten Pemalang	-Peta Curah Hujan -Peta Geologi -Peta Potensi Bahan Galian Golongan C	Sebaran curah hujan di wilayah studi bisa dihitung untuk wilayah yang bertetangga yang tidak memiliki data curah hujan menggunakan metode Thiessen polygon dimana rata-rata terbobot (weighted average), masing-masing stasiun hujan ditentukan luas daerah pengaruhnya berdasarkan poligon yang dibentuk (menggambarkan garis-garis sumbu pada garis-garis penghubung antara

<i>N o</i>	<i>Judul</i>	<i>Pengarang dan Tahun</i>	<i>Tujuan</i>	<i>Metode dan Lokasi Studi</i>	<i>Data dan Sumber Data</i>	<i>Hasil</i>
						dua stasiun hujan yang berdekatan).

IV. METODE PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kemiringan lereng dan ketinggian lahan, tutupan lahan, jenis tanah, dan curah hujan yang akan dijadikan faktor atau parameter awal yang diduga menjadi penyebab terjadinya tanah longsor. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Basofi (2016) yang melakukan pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor dengan variabel ketinggian [24] dan Penelitian yang dilakukan oleh La Ode Juni Akbar, Dewi Sartika T.Zee, dan Bambang Djau (2024) yang melakukan pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor dengan variabel jenis tanah, kemiringan lahan, tutupan lahan, curah hujan [20]. Selain itu digunakan pula peta geologi yang didapat dari geomap Kementerian ESDM untuk menunjang pembuatan peta kerawanan fisik alami tanah longsor.

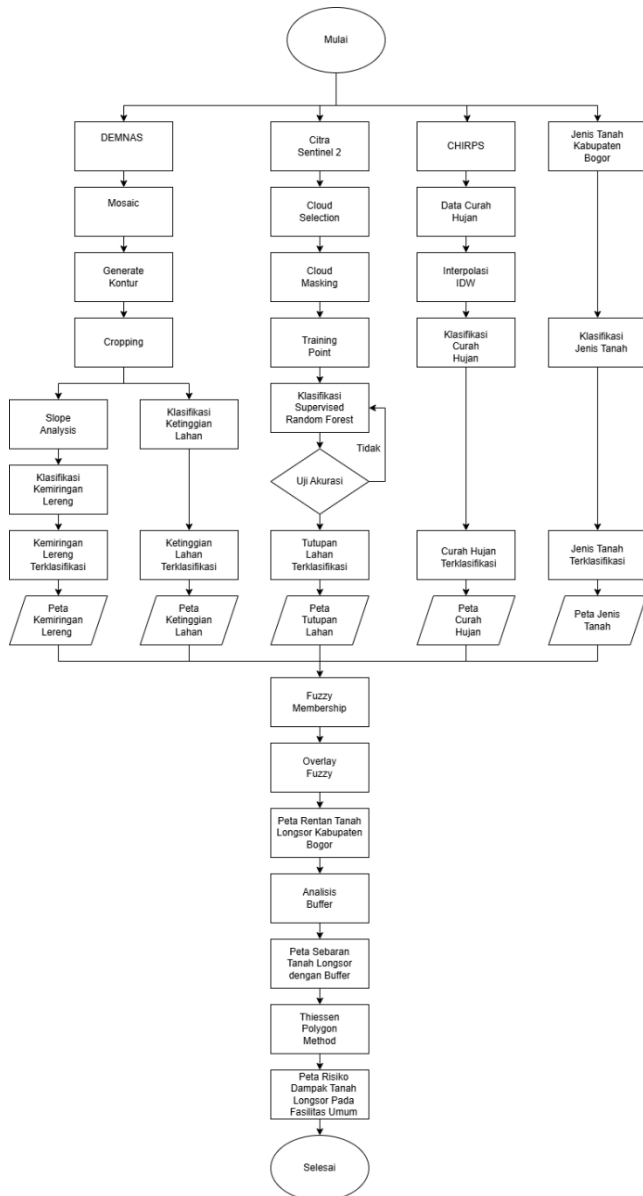
B. Metode

Metode yang digunakan dalam melakukan pemetaan kerawanan fisik alami tanah longsor adalah metode *soft computing* menggunakan *Fuzzy logic* untuk menentukan tingkat kerawanan fisik alami tanah longsor di wilayah Kabupaten Bogor kemudian dilakukan pemetaan dengan memanfaatkan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan QGIS. Logika fuzzy merupakan cara untuk memetakan ruang input dalam suatu ruang output. Teori logika fuzzy diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh pada tahun 1962. Beberapa kelebihan dari logika fuzzy seperti dapat melakukan penalaran secara bahasa sehingga persamaan yang digunakan tidak rumit, mudah dimengerti, memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat, dan dapat memodelkan fungsi nonlinier kompleks [19]. Logika fuzzy berbeda dengan logika digital biasa, dimana logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu: Ya dan Tidak atau ON dan OFF atau High dan Low atau "1" dan "0". Sedangkan Logika Fuzzy meniru cara berpikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai. Dengan teori himpunan fuzzy, suatu objek dapat menjadi anggota dari banyak himpunan dengan derajat keanggotaan yang berbeda dalam masing-masing himpunan [25]. Dalam penelitian ini, Logika fuzzy digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan fisik alami bencana tanah longsor di wilayah Kabupaten Bogor.

Selanjutnya, analisis buffer digunakan untuk mendukung tujuan kedua dari penelitian ini yaitu menganalisis spasial sebaran daerah rawan bencana tanah longsor. Buffer adalah suatu teknik analisis yang mengidentifikasi hubungan antara suatu titik dengan area sekitarnya yang juga dikenal sebagai *Proximity Analysis*. Prahasta dalam Wafirul Aqli (2010), secara anatomis Buffer adalah sebetuk zona yang mengarah keluar dari suatu objek pemetaan baik berupa titik, garis, atau area (poligon) . Buffer dapat menghasilkan sebuah area yang mengelilingi suatu objek spasial pada peta (objek yang

dibuffer) dengan jarak tertentu. Zona yang terbentuk secara visual dapat digunakan untuk menganalisis hubungan spasial antara suatu objek peta terhadap objek-objek lain di sekitarnya. DeMers dalam Wafirul Aqli (2010), Bentuk Buffer yang terbuat dari elemen titik pada peta dapat berhierarki dalam skala tertentu dan menunjukkan pengaruh suatu nilai terhadap area yang dilingkupinya. Bentuk Buffer yang terbentuk dari elemen garis menggambarkan nilai yang terdapat dalam garis tersebut sebagai kondisi tertampung. Sedangkan bentuk Buffer yang terbuat dari unsur area atau polygon dapat menggambarkan kondisi dampak dari fenomena yang terkandung dalam unsur peta [26].

Selanjutnya, Poligon Thiessen digunakan untuk mendukung tujuan ketiga dalam penelitian ini, yaitu untuk menganalisis risiko dampak kerawanan fisik alami bencana tanah longsor. Poligon Thiessen atau yang dikenal dengan poligon Voronoi adalah metode penting untuk mengalokasikan ruang ke fitur titik terdekat. Poligon ini mendefinisikan area di sekitar suatu titik, dimana setiap lokasi lebih dekat ke titik titik tersebut daripada ke semua lokasi lainnya [26]. Pada penelitian ini, Polygon Thiessen digunakan untuk menganalisis dampak kerawanan fisik alami bencana tanah longsor terhadap fasilitas umum dengan memetakan zona pengaruh setiap fasilitas berdasarkan hasil peta kerawanan fisik alami dari tujuan pertama dan zona buffer dari tujuan kedua. Dengan teknik ini, setiap fasilitas umum akan memiliki area cakupan tersendiri yang menggambarkan wilayah dengan pengaruh terdekat terhadap fasilitas tersebut, sehingga memudahkan untuk menilai tingkat risiko berdasarkan posisi fasilitas terhadap zona kerawanan fisik alami tinggi. Peta yang dihasilkan memberikan informasi strategis untuk merencanakan mitigasi atau penguatan infrastruktur pada fasilitas yang paling terdampak dalam zona risiko tinggi. Pada Gambar 3 berikut disajikan alur pengolahan pada penelitian ini.



Gambar 3. Alur Pengolahan Penelitian.

V. RANCANGAN JADWAL PENELITIAN

Pada tabel 2 berikut ditampilkan rancangan jadwal penelitian sementara yang dapat berubah menyesuaikan kondisi yang ada dikemudian hari.

TABEL II
RANCANGAN JADWAL PENELITIAN

Kegiatan	2024			2025							
	Bulan			Bulan							
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Perumusan topik dan proposal skripsi											
Pengumpulan data											

Pengolahan data											
Evaluasi hasil penelitian											
Visualisasi dengan pembangunan dashboard											
Penyusunan hasil penelitian											
Seminar skripsi											
Revisi hasil penelitian pasca seminar											
Sidang skripsi											
Penulisan buku skripsi											
Penyelesaian dan pengumpulan buku skripsi											

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Penataan Ruang, *Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.22/PRT/M/2007*. 2007.
- [2] S. Panchal and A. K. Shrivastava, "Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (AHP): A case study of National Highway 5 in India," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 3, May 2022, doi: 10.1016/j.asej.2021.10.021.
- [3] N. Jannah Mantika, S. Retno Hidayati, and dan Septiana Fathurrohman, "Identifikasi Tingkat Kerentanan Bencana Di Kabupaten Gunungkidul," 2020.
- [4] Ruhr University Bochum – Institute for International Law of Peace and Armed Conflict (IFHV), "WorldRiskReport 2024 Focus: Multiple Crises," 2024.
- [5] D. Hermon, *Geografi Bencana Alam*. Jakarta: Radja Grafindo Persada Press, 2014.
- [6] H. A. Sudibyakto, *Manajemen bencana di Indonesia ke mana?* Yogyakarta: UGM Press, 2011.
- [7] Mubekti and F. Alhasanah, "Mitigasi Daerah Rawan Tanah Longsor Menggunakan Teknik

- Pemodelan Sistem Informasi Geografis,” 2008.
- [8] Provinsi Jawa Barat, “Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD) Provinsi Jawa Barat Tahun 2023,” 2023.
- [9] Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kabupaten Bogor, “Kondisi Geografi Daerah Kabupaten Bogor.” Accessed: Jul. 20, 2025. [Online]. Available: <https://disbudpar.bogorkab.go.id/berita/Seputar-OPD/kondisi-geografis-daerah-kabupaten-bogor#:~:text=Topografi%20Kabupaten%20Bogor%20bervariasi%2C%20dari,100%2D500%20meter%20dpl%2C%2019>
- [10] L. Yu, Y. Wang, and B. Pradhan, “Enhancing landslide susceptibility mapping incorporating landslide typology via stacking ensemble machine learning in Three Gorges Reservoir, China,” *Geoscience Frontiers*, vol. 15, no. 4, p. 101802, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.gsf.2024.101802.
- [11] PT. Idi Kajang Consultans, “Kajian Risiko Bencana Ekstrem Di Kota Jakarta Tahun 2016,” 2016.
- [12] R. M. Akbar and A. Kurniawan, “Pemanfaatan Data Citra Satelit Multi Temporal untuk Identifikasi Potensi Tanah Longsor di Lereng Gunung Bromo Kabupaten Pasuruan,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, pp. 2301–9271, 2020.
- [13] M. A. Hussain, Z. Chen, Y. Zheng, Y. Zhou, and H. Daud, “Deep Learning and Machine Learning Models for Landslide Susceptibility Mapping with Remote Sensing Data,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 19, Oct. 2023, doi: 10.3390/rs15194703.
- [14] C. E. Supit, S. Yulianto, and J. Prasetyo, “Analisis Potensi Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Banjarnegara Menggunakan Interpolasi Inverse Distance Weigthed (IDW),” *Technology and Science (BITS)*, vol. 6, no. 1, pp. 43–53, 2024, doi: 10.47065/bits.v6i1.5187.
- [15] R. Sawitri, D. Baco, R. Ulfiyana, and T. Karo-karo, “Aplikasi Citra Landsat untuk Pemetaan Daerah Rawan Longsor di Kabupaten Bandung,” *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, vol. 2, no. 2, pp. 65–73, Nov. 2021, doi: 10.23960/jgrs.2021.v2i2.42.
- [16] D. Dwi Nugroho and H. Nugroho, “Analisis Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frequency Ratio di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat Landslide Vulnerability Analysis Using Frequency Ratio Method in West Bandung Regency, West Java,” vol. 16, no. 1, pp. 8–18, 2020.
- [17] L. Triwahyuni and dan Ratna Saraswati, “Analisis Spasial Wilayah Potensi Longsor dengan Metode SINMAP dan SMORPH di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta,” Jul. 2017.
- [18] A. Akmelliona and D. A. Arif, “Pemetaan Kerawanan Bencana Longsor Menggunakan Teknik UAV (Studi Kasus: Jalur Sitinjau Lauik Padang – Solok),” *Al-DYAS*, vol. 3, no. 2, pp. 635–650, Apr. 2024, doi: 10.58578/alldyas.v3i2.2907.
- [19] A. Y. Effendi and T. Hariyanto, “Pembuatan Peta Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Menggunakan Metode Fuzzy logic (Studi Kasus: Kabupaten Probolinggo),” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, 2016.
- [20] L. O. J. Akbar, D. S. T. Zees, and B. Djau, “Pemanfaatan Informasi Spasial Berbasis SIG Untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor Di Kecamatan Sumalata,” *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa, dan Teknologi*, vol. 12, pp. 98–107, 2024.
- [21] C. CA and K. S, “A Multistage Technique to Minimize Overestimations of Slope Susceptibility at Large Spatial Scales,” *Journal of Remote Sensing & GIS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.4172/2469-4134.1000159.
- [22] M. Dandy Wardhana, A. Sofwan, and I. Setiawan, “Fuzzy Logic Method Design for Landslide Vulnerability,” in *The International Conference on Energy, Environment, Epidemiology and Information System (ICENIS)*, 2019. doi: 10.1051/e3sconf/201.
- [23] D. H. U. Ningsih, “Metode Thiessen Polygon untuk Ramalan Sebaran Curah Hujan Periode Tertentu pada Wilayah yang Tidak Memiliki Data Curah Hujan,” *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, vol. 17, pp. 154–163,

- 2012, [Online]. Available:
<https://www.researchgate.net/publication/314238647>
- [24] A. Basofi, A. Fariza, and M. R. Dzulkarnain, "Landslides Susceptibility Mapping Using Fuzzy Logic: A Case Study in Ponorogo, East Java, Indonesia," in *International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*, IEEE, 2016.
 - [25] N. S. Wibowo, D. P. S. Setyohadi, and H. Rakhmad, "Penggunaan Metode Fuzzy Dalam Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Daerah Rawan Banjir Di Kabupaten Jember," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 2016.
 - [26] H. Flitter, P. Weckenbrock, and R. Weibel, "Accessibility," 2016.