

Studi Longsor Berbasis Kecerdasan Buatan: Sebuah Tinjauan

T.H.W. Kristyanto^{1,2,3*}, U. Wusqa^{1,4}, T.Y.R. Destyanto⁵, M.M. Lanny W. Pandjaitan⁶, dan Lukas⁷

¹ Prodi Geologi, FMIPA, Universitas Indonesia, Kota Depok 16424, Indonesia

² Prodi Doktor Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, 45363, Indonesia

³ Profesi Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, 50196, Indonesia

⁴ Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Kota Bogor, 16129, Indonesia

⁵ Jurusan Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Sleman, 12930, Indonesia

⁶ Program Magister Teknik Elektro, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, 12930, Indonesia

⁶ Kelompok Keahlian Teknik Kognitif (CERG), Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, 12930, Indonesia

*Narahubung: twin.hosea@sci.ui.ac.id

Abstrak

Tanah longsor masih menjadi topik hangat dalam diskusi bencana geologi, termasuk Indonesia. Berbagai metode, termasuk Artificial Intelligence (AI), digunakan untuk melakukan pengembangan penelitian tentang topik tanah longsor. Oleh karena itu, makalah ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan komprehensif studi longsor berbasis AI yang berfokus pada area aplikasi tertentu, metode rekayasa fitur (FEM), dan sumber Digital Elevation Model (DEM) yang digunakan dalam penelitian. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan tinjauan sistematis terhadap studi longsor terkini (2012-2022) yang diteliti secara sistematis dalam suatu sintesis. Eksplorasi menghasilkan 26 makalah dari jurnal atau prosiding terindeks nasional dan internasional, yang disaring menjadi 12 artikel yang membahas atau menyebutkan area aplikasi tertentu, FEM, dan sumber DEM. Analisis menunjukkan bahwa aplikasi AI dalam studi longsor didominasi untuk pemetaan kerentanan longsor dan masih sedikit untuk aplikasi lain. Hal ini juga menunjukkan bahwa hampir semua studi longsor berbasis AI memilih SRTM sebagai sumber DEM. Mengenai FEM, hanya lima artikel yang membahas pemilihan faktor longsor yang penting. Ada empat FEM yang digunakan dalam studi tersebut, yaitu deduksi variabel, model faktor kepastian, algoritma C.45, dan peringkat kepentingan variabel. Dari analisis mendalam terhadap 13 artikel tersebut, dapat disimpulkan bahwa studi longsor berbasis AI di Indonesia masih perlu dikembangkan alih-alih berfokus pada pemetaan kerentanan longsor saja. Studi untuk menemukan faktor longsor yang efektif dan sumber daya DEM yang kompatibel menggunakan AI juga dapat menjadi peluang baru bagi para ahli longsor.

Kata kunci: Tanah Longsor, Studi Tanah Longsor Berbasis AI, Metode Rekayasa Fitur

1. Pendahuluan

Tanah longsor masih menjadi topik hangat dalam diskusi bencana geologi, termasuk Indonesia. Banyak peneliti melakukan berbagai pendekatan terkait tanah longsor di Indonesia. Studi tanah longsor tersebut membahas berbagai jenis masalah seperti penyelidikan lokasi (termasuk analisis stabilitas lereng), pemantauan tanah longsor, pemetaan tanah longsor, analisis tanah longsor untuk kasus-kasus tertentu, dan area diskusi lainnya. Penelitian semacam itu memang akan berkembang secara luas di masa depan (Chikalamo et al., 2020; Fathani et al., 2014; Naing et al., 2018; Oh et al., 2010).

Berbagai metode, termasuk beragam Artificial Intelligence (AI), digunakan untuk melakukan

pengembangan penelitian tentang topik tanah longsor. Banyak jenis metode AI dan bagaimana mereka digunakan dalam diskusi tanah longsor bervariasi. Beberapa dari studi ini mengklaim hasil yang membanggakan dalam kesimpulan mereka, yang memberi kesan bahwa semua metode dan aplikasi AI mempengaruhi penelitian tanah longsor. Diskusi tersebut menunjukkan bahwa studi longsor berbasis AI telah berkontribusi dalam mengembangkan penelitian longsor di Indonesia (Aditian et al., 2018; Dia et al., 2021; Ilmy et al., 2021a; Samodra & Nugroho, 2022; Umar et al., 2014; Xue et al., 2022).

Misalnya, berbagai metode AI telah menghasilkan model dan peta tanah longsor yang kuat. Peta longsor berkualitas tinggi, dengan

akurasi antara 85->95%, diproduksi menggunakan berbagai jenis pendekatan AI seperti Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Artificial Neural Network (ANN). Dalam banyak kasus, kinerja mereka juga diperangi dan dibandingkan dengan menemukan yang paling kuat. "Persaingan" ini juga secara tidak sadar membantu mengembangkan produksi model tanah longsor untuk masalah mitigasi (Adition et al., 2018; Darminto dkk., 2021; Xue et al., 2022).

Seperti area diskusi lainnya, penelitian tanah longsor juga melibatkan banyak fitur atau variabel. Penelitian tanah longsor, seperti pemetaan kerentanan, selalu menggunakan banyak parameter untuk membangun peta berkualitas tinggi. Pemetaan kerentanan longsor menggunakan pendekatan AI di Indonesia juga, dalam beberapa kasus, termasuk pemilihan fitur atau modifikasi dalam prosedur mereka. Memang bisa mengembangkan performa model atau peta (Bachri dkk., 2021; Darminto dkk., 2021; Xue et al., 2022).

Di sisi lain, peneliti sering membandingkan kinerja metode AI dalam menghasilkan studi longsor dengan berbagai jenis Digital Elevation Model (DEM). Pemilihan sumber DEM melibatkan beragam pertimbangan seperti ketersediaan, resolusi, kompatibilitas, dll. Diversifikasi ini menggunakan sumber DEM juga menghasilkan hasil pemodelan yang berbeda yang juga menarik untuk dibahas (Aldi dkk., 2021; Irawan dkk., 2021; Samodra & Nugroho, 2022a).

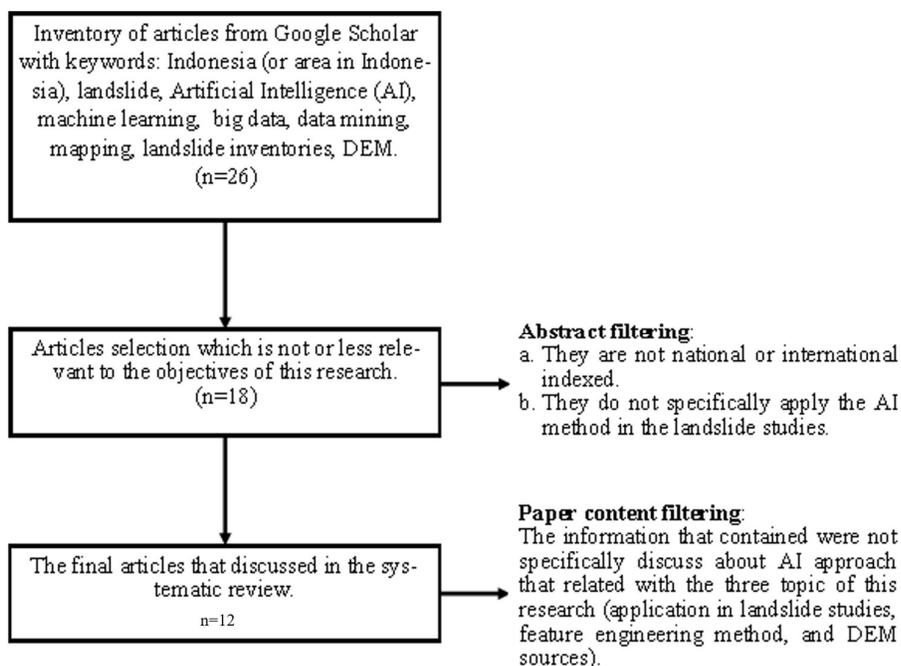
Contoh-contoh studi longsor berbasis AI di Indonesia menunjukkan bahwa studi-studi ini masih berkembang dan akan terus berlanjut di masa depan. Banyak peluang dalam aplikasi pendekatan AI ini di daerah longsor dapat digali

dan dikembangkan. Namun, sejauh yang penulis cari, belum ada tinjauan sistematis terhadap studi tanah longsor berbasis AI di Indonesia, terutama berfokus pada tiga topik tanah longsor ini. Oleh karena itu, makalah ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan komprehensif studi tanah longsor berbasis AI yang berfokus pada area aplikasi tertentu, metode rekayasa fitur, dan sumber Metode Elevasi Digital (DEM) yang digunakan dalam penelitian.

2. Data dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan tinjauan sistematis terhadap kajian longsor terkini (2012-2022) yang dikatalogkan dan diinvestigasi secara sistematis secara sintesis. Metode ini dilakukan dengan melakukan survei ekstensif terhadap hasil penelitian terdahulu melalui pencarian berbagai artikel ilmiah terkait studi longsor berbasis AI di Indonesia yang telah dipublikasikan. Eksplorasi tersebut menghasilkan 26 makalah dari jurnal atau prosiding terindeks nasional dan internasional.

Proses tinjauan sistematis ditindaklanjuti dengan inventarisasi berbagai literatur yang membahas aplikasi spesifik metode AI dalam tanah longsor, metode rekayasa fitur dalam penelitian, dan sumber DEM yang digunakan dalam penelitian. Pencarian artikel terbatas pada periode publikasi dari 2012 hingga 2022. Sebanyak 26 artikel diinventarisasi dan diurutkan menurut topik yang paling relevan. Ini menghasilkan 12 buah yang membahas atau menyebutkan area aplikasi tertentu, metode rekayasa fitur, dan sumber DEM. Alur pemilihan artikel dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini (Antosik-Wójcińska et al., 2020; Tehrani et al., 2022; Wee et al., 2020).



Gambar 1. Alur proses inventarisasi artikel dalam tinjauan sistematis.

3. Hasil dan Pembahasan

Aplikasi Metode AI dalam Studi Tanah Longsor

AI itu sendiri dapat didefinisikan sebagai kecerdasan manusia yang dipamerkan oleh mesin. Yang lain mengatakan bahwa AI adalah studi tentang agen cerdas yang memahami lingkungan mereka dan mengambil tindakan untuk memaksimalkan peluang keberhasilan mereka di beberapa tujuan, termasuk dalam kerentanan prediksi tanah longsor. Agar AI yang kuat dapat mencapai tujuannya dengan keandalan tinggi, ia harus memenuhi beberapa persyaratan. Dalam konteks kerentanan longsor, di antaranya adalah akurasi, kinerja, kemampuan menjelaskan, transparansi, akuntabilitas, integritas, reproduktifitas, dan pengawasan oleh manusia (Bini, 2018, hlm. 2358; Helm et al., 2020, hlm. 69).

Model AI akurat dengan menghasilkan lebih sedikit positif dan negatif palsu. Ketika suatu model bekerja dalam kondisi yang tidak pasti, ia berfungsi secara akurat. Kemampuan menjelaskan mengacu pada kemampuan pengguna untuk memprediksi dengan benar hasil model AI untuk input yang

diberikan dan alasan di balik kegagalan model. Dengan memberikan gambaran model yang jelas kepada pengguna, model transparan, sehingga mereka dapat memahami apakah sudah diuji. Model yang akuntabel dapat membenarkan kepada penggunanya keputusan yang dibuatnya. Reprodutifitas model adalah kemampuan untuk mereproduksi semua keputusan yang dibuat oleh sistem jika dilengkapi dengan parameter dan kondisi input yang sama. Sedangkan pengawasan oleh manusia, sebagai persyaratan yang paling kritis, mengacu pada ketersediaan model AI untuk dikendalikan oleh manusia untuk mencegah bahaya (Kaur et al., 2021, hlm. 107–108).

Metode AI sudah digunakan untuk studi longsor di beberapa aplikasi Hampir semua studi longsor menggunakan pendekatan AI untuk mengembangkan peta kerentanan longsor dengan berbagai skala. Setidaknya lima makalah menggunakan Random Forest (RF) untuk membangun peta kerentanan longsor (LSM). Ilmy dkk. menggunakan RF untuk membuat LSM di Kabupaten Pacitan, menghasilkan peta yang kuat dengan akurasi 94%. Pada saat yang sama,

Samodra dan Nugroho menggunakan metode AI yang sama untuk menghasilkan LSM di area yang sama. Mereka membuat kontribusi baru dengan membandingkan data inventarisasi tanah longsor, menggunakan validasi silang spasial dan penyetulan hiperparameter spasial untuk meminimalkan overfitting. Mereka juga menghasilkan model prediksi kinerja yang relatif tinggi dan mengurangi munculnya artefak kerentanan di daerah longsor (Azam & Fardani, 2022, hlm. 1–2; Samodra & Nugroho, 2022b, hlm. 2).

Metode AI populer lainnya yang biasa digunakan untuk membangun LSM adalah Logistic Regression (LR). Setidaknya empat makalah menggunakan pendekatan statistik multivariat ini, di mana beberapa peneliti menggabungkan LR dengan metode AI lain, seperti ANN, DT, atau Frequency Ratio (FR), untuk menghasilkan LSM. LSM yang diproduksi LR memiliki rentang akurasi 68,7-85%. Metode AI lain yang kurang populer yang digunakan untuk menghasilkan LSM di Indonesia adalah ANN, FR, dan DT. Beberapa modifikasi ANN, seperti faktor tertentu ANN dan Deep Neural Network, dikembangkan untuk melakukan analisis yang sama (Aditian et al., 2018;

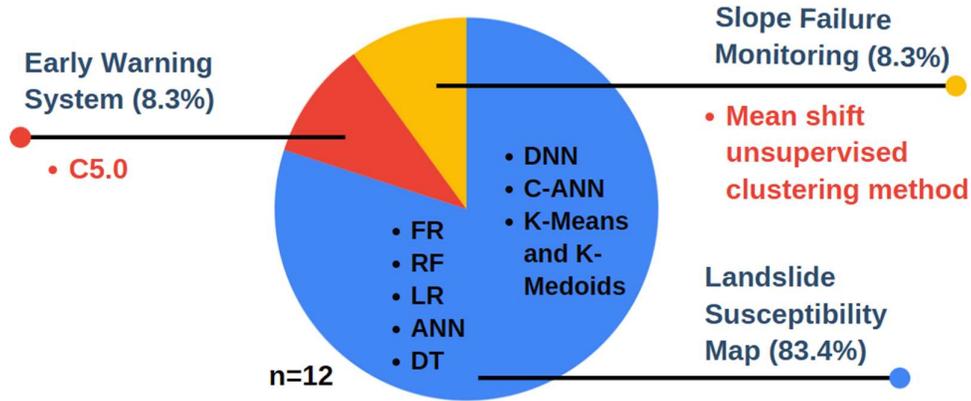
Darminto dkk., 2021; Irawan et al., 2021; Xue et al., 2022).

Selain diterapkan dalam pemetaan kerentanan longsor, metode AI juga digunakan untuk studi longsor lainnya. Drieka dkk. menggunakan metode mean Shift Unsupervised Clustering untuk memantau kegagalan lereng di lokasi tambang Batu Hijau, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Penelitian ini berhasil mengelompokkan daerah rawan kegagalan lereng di lokasi penambangan untuk kebutuhan pemantauan. Drieka dkk., (2021) juga melakukan pengelompokan daerah rawan longsor menggunakan metode K-Means dan K-Medoids. Mereka melakukan clustering sebagai upaya mitigasi dalam keadaan darurat merespon potensi terjadinya longsor di Provinsi Jawa Barat (Herviany dkk., 2021). Aplikasi spesifik lainnya disampaikan oleh Susetyo, yang mengembangkan sistem peringatan dini tanah longsor menggunakan metode AI C5.0. Penelitian ini telah berkontribusi pada model deteksi longsor spasial di seluruh Pulau Jawa untuk daerah hotspot dan cold spot longsor. Ringkasan kajian dan penelitian tentang berbagai penerapan metode AI untuk studi longsor di Indonesia disajikan pada Tabel 1. Ilustrasi Tabel 1 disajikan pada Gambar 2 (Susetyo, 2018, hlm. 101).

Tabel 1. Daftar literatur tentang metode AI dalam studi tanah longsor di Indonesia dan kontribusinya

No.	Penulis	Tahun	Lokasi Penelitian	Metode AI	Aplikasi	Kontribusi	Tingkat Keberhasilan
1	Aditian dkk.	2018	Kota Ambon, Provinsi Maluku	FR, LR, ANN	Peta kerentanan tanah longsor	Metode ML yang paling optimal untuk menghasilkan peta kerentanan tanah longsor di area tersebut.	68,8% (RF), 68,7% (LR), 73,4% (ANN)
2	Susetyo dkk.	2018	Pulau Jawa	C5.0	Sistem peringatan dini	Model deteksi longsor spasial di seluruh Pulau Jawa untuk area hotspot dan coldspot longsor.	84.61%
3	Irawan dkk.	2020	Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur	Frequency Ratio dan Logistic Regression	Peta kerentanan tanah longsor	Metode ML yang paling optimal untuk menghasilkan peta kerentanan tanah longsor di area tersebut.	91%

4	Drieka <i>dkk.</i>	2021	Batu Hijau, Provinsi Nusa Tenggara Barat	Metode pengelompokan shift tanpa pengawasan rata-rata	Pemantauan kegagalan lereng	Clustering slope area rawan kegagalan di lokasi penambangan untuk pemantauan.	Belum diuji
5	Aldi <i>dkk.</i>	2021	Distrik Muara Tami, Kota Jayapura, Provinsi Papua	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	Peta kerentanan Landslide	90%
6	Bachri <i>dkk.</i>	2021	Daerah Aliran Sungai Bendo, Banyuwangi Regenci, Provinsi Jawa Timur	Faktor tertentu Artificial Neural Network (C-ANN)	Peta kerentanan tanah longsor	Optimalisasi model kerentanan longsor menggunakan pemilihan faktor.	91.60%
7	Darminto <i>dkk.</i>	2021	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest (RF), Decision Tree(DT), dan Logistic Regression (LR)	Peta kerentanan tanah longsor	Metode ML yang paling optimal untuk menghasilkan peta kerentanan tanah longsor di area tersebut.	96% (RF); 86% (DT), dan 85% (LR)
8	Ilmy <i>dkk.</i>	2021	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	Peta kerentanan tanah longsor.	94%
9	Herviany <i>dkk.</i>	2021	Provinsi Jawa Barat	K-Means dan K-Medoids	Pengelompokan area longsor	Pengelompokan area rawan longsor untuk tanggap darurat.	N/A
10	Azam dan Fardani	2022	Cililin, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	Memprediksi area rawan longsor.	73%
11	Xue <i>dkk.</i>	2022	Pulau Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat	Logistic Regression (LR), Frequency Ratio (FR), Artificial Neural Network (NN), Deep Neural Network (DNN)	Peta kerentanan tanah longsor	Perbandingan peta kerentanan longsor akibat gempa bumi dengan faktor kepentingan yang dipilih dan inventarisasi longsor interval pendek.	-
12	Samodra dan Nugroho	2022	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	Benchmarking data inventaris tanah longsor untuk meminimalkan overfitting, menghasilkan model prediksi kinerja yang relatif tinggi, dan mengurangi munculnya kerentanan artefak di daerah longsor.	-



Gambar 2. Distribusi studi longsor berbasis AI Indonesia.

Fitur Metode Rekayasa (FEM)

Tanah longsor dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, baik internal maupun eksternal. Banyak peneliti menggunakan berbagai parameter atau fitur untuk menghasilkan model tanah longsor, terutama peta kerentanan. Mereka memiliki pertimbangan dan analisis dalam melibatkan atau menghilangkan faktor-faktor spesifik dalam model mereka. Dalam beberapa kasus, fitur longsor dimodifikasi untuk meningkatkan kualitas model.

Melalui tinjauan sistematis ini, lima dari 13 makalah terpilih membahas metode rekayasa fitur dalam studi tanah longsor mereka menggunakan metode AI. Xue *dkk.* melakukan deduksi faktor iteratif sebagai metode rekayasa fitur. Mereka menggunakan beberapa seri pelatihan model dan pengujian untuk mengevaluasi pentingnya setiap faktor dalam model. Mereka kemudian menggunakan akurasi model sebelumnya untuk menghilangkan faktor yang berbeda berdasarkan akurasi referensi (Xue *dkk.*, 2022).

Bachri *dkk.* (2021) juga mencoba membangun model kerentanan longsor yang dapat diandalkan dengan memilih faktor pengendali longsor yang efektif. Mereka menggunakan metode Certainty Factors (CF) untuk melihat korelasi positif faktor pengendali longsor umum dengan potensi longsor spesifik di DAS Bendo, Kabupaten Banyuwangi,

Provinsi Jawa Timur. Mereka membandingkan akurasi model tanah longsor yang dihasilkan dengan metode ANN sebelum dan sesudah pengendali faktor eliminasi. Ini menunjukkan bahwa model faktor kontrol yang efektif berkinerja lebih baik (Bachri *dkk.*, 2021).

Widiastari *dkk.* (2021), pertimbangkan juga faktor longsor yang paling efektif dalam mitigasi tanah longsor. Model longsor harus mengutamakan faktor-faktor yang mempengaruhi longsor di lokasi tersebut. Oleh karena itu, mereka menggunakan metode klasifikasi C4.5 (pendekatan DT) untuk menentukan faktor mana yang paling berpengaruh terhadap kejadian tanah longsor. Parameter ini kemudian digunakan untuk membangun model tanah longsor yang lebih efektif (Widiastari *dkk.*, 2021).

Darminto *dkk.* (2021) juga menyadari pentingnya faktor pengendali, terutama faktor topografi. Mereka menganalisis kontribusi masing-masing faktor topografi terhadap model longsor di Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Ini menunjukkan bahwa elevasi memberikan kontribusi tertinggi sedangkan kelengkungan profil berada di sisi kontras. Peringkat kontribusi faktor dilakukan berdasarkan penurunan rata-rata Gini dari masing-masing faktor dalam model RF yang mereka bangun. Mereka kemudian menjalankan

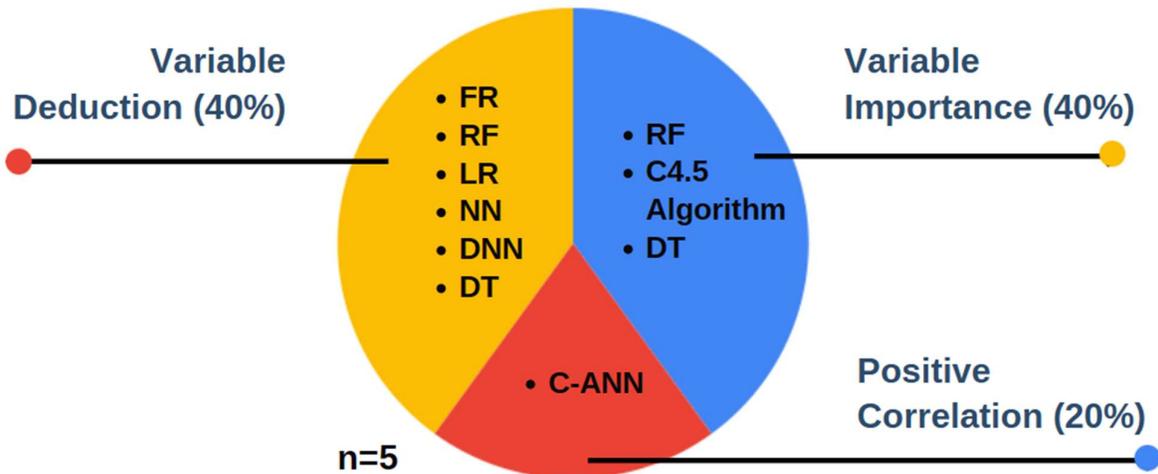
kembali model dengan menghilangkan beberapa faktor untuk membuktikan peringkat mereka (Darminto dkk., 2021).

Ilmy dkk. (2021) tampaknya setuju dengan studi yang disebutkan sebelumnya dengan juga menganalisis pentingnya setiap faktor berdasarkan kontribusi kepentingan relatif yang dihitung dalam model RF. Mereka membahas bahwa sangat penting untuk memilih faktor-faktor efektif dalam

menghasilkan model kerentanan tanah longsor. Kelima preseden tersebut menyiratkan bahwa pemilihan fitur adalah salah satu strategi untuk meningkatkan kualitas model longsor. Rangkuman pembahasan mengenai metode rekayasa fitur dalam studi longsor berbasis AI di Indonesia disajikan pada Tabel 2. Ilustrasi Tabel 2 disajikan pada Gambar 3 (Ilmy dkk., 2021a).

Tabel 2. Daftar literatur tentang metode rekayasa fitur dalam studi longsor berbasis AI di Indonesia

No.	Penulis	Tahun	Lokasi Penelitian	Metode AI	Metode Rekayasa Fitur
1	Bachri dkk.	2021	Daerah Aliran Sungai Bendo, Banyuwangi Regenci, Provinsi Jawa Timur	Faktor tertentu Artificial Neural Network (C-ANN)	Model Faktor Kepastian
2	Widiastri dkk.	2021	Sungai Bohorok, Provinsi Sumatera Utara	Decision Treedengan Algoritma C4.5	Algoritma C4.5
3	Darminto dkk.	2021	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest (RF), Decision Tree(DT), dan Logistic Regression (LR)	Pengurangan variabel
4	Ilmy dkk.	2021	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest	Kepentingan Variabel Random Forest
5	Xue dkk.	2022	Pulau Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat	Logistic Regression (LR) Frequency Ratio (FR) Artificial Neural Network (NN) Deep Neural Network (DNN)	Pengurangan variabel berulang



Gambar 3. FEM dalam Studi Longsor Berbasis AI Indonesia.

Sumber DEM

Kemajuan dalam ketersediaan dan kualitas model elevasi digital (DEM) telah menyebabkan pengembangan penelitian lingkungan berbasis topografi. Data DEM banyak diterapkan untuk

mempelajari erosi, sedimentasi, dan evolusi lanskap. Selain itu, juga digunakan untuk menghitung parameter permukaan bumi, seperti lereng, bentuk lembah, dan pola drainase.

Mengenai DEM yang diturunkan dari satelit, NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) telah mengumpulkan data topografi untuk sekitar 80% permukaan tanah bumi di daerah antara garis lintang 60 °. DEM SRTM yang dirilis untuk Amerika Serikat berada pada resolusi 30 meter dan untuk seluruh dunia pada 90 m. Data SRTM sering memiliki masalah dengan data yang hilang, dan kesalahan vertikal bisa mencapai 15 m di daerah pegunungan.

Banyak peta derivat dapat dihasilkan dari SRTM menggunakan operasi GIS yang relatif sederhana. Tren ini mungkin juga mengapa banyak studi bahaya tanah longsor memasukkan peta turunan. Turunan dari SRTM dapat digunakan dalam analisis heuristik pada skala kecil, dalam

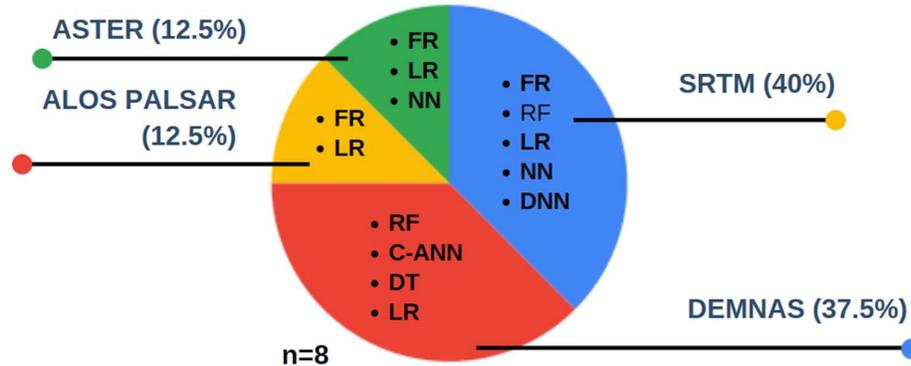
analisis statistik pada skala menengah, dan dalam pemodelan deterministik pada skala besar.

Seperti pada Aldi *et al.* (2021), yang menggunakan SRTM untuk melakukan analisis morfologi, data SRTM resolusi tinggi diproses untuk mengekstrak atribut elevasi dan kemiringan. Atribut ini disimpan dalam format grid, raster, atau indeks matriks. Ilmy *dkk.* (2021) memilih data SRTM untuk mendapatkan variabel elevasi, kemiringan, dan aspek dalam pemetaan kerentanan longsor menggunakan machine learning dengan Google Earth Engine . Rangkuman pembahasan mengenai sumber daya DEM yang digunakan dalam studi longsor berbasis AI di Indonesia disajikan pada Tabel 3. Ilustrasi Tabel 3 disajikan pada Gambar 4 (Ilmy *dkk.*, 2021b).

Tabel 3 Daftar literatur tentang sumber data DEM yang digunakan dalam studi longsor berbasis kecerdasan buatan di Indonesia

No.	Penulis	Tahun	Lokasi Penelitian	Metode AI	Aplikasi di Tanah Longsor	Sumber DEM	Tingkat Keberhasilan
1	Xue <i>dkk.</i>	2022	Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat	Logistic Regression (LR) Frequency Ratio (FR) Artificial Neural Network (NN) Deep Neural Network (DNN)	Peta kerentanan tanah longsor	SRTM	-
2	Guruh dan Nugroho	2022	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	DEMNAS	-
3	Aldi <i>dkk.</i>	2021	Distrik Muara Tami, Kota Jayapura, Provinsi Papua	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	SRTM	90%
4	Bachri <i>dkk.</i>	2021	Daerah Aliran Sungai Bendo, Banyuwangi Regenci, Provinsi Jawa Timur	Faktor tertentu Artificial Neural Network (C-ANN)	Peta kerentanan tanah longsor	DEMNAS (IFSAR, TERRASAR -X, dan ALOS-PALSAR)	91,60%
5	Darminto <i>dkk.</i>	2021	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest (RF), Decision Tree(DT), dan Logistic Regression (LR)	Peta kerentanan tanah longsor	Badan Informasi Geospasial Indonesia (Resolusi Tinggi)	96% (RF); 86% (DT), dan 85% (LR)
6	Ilmy <i>dkk.</i>	2021	Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur	Random Forest	Peta kerentanan tanah longsor	SRTM	94%
7	Irawan <i>dkk.</i>	2020	Kecamatan Pacet, Kabupaten	Frequency Ratio dan Logistic Regression	Peta kerentanan tanah longsor	ALOS PALSAR	91%

			Mojokerto, Provinsi Jawa Timur				
8	Adition <i>dkk.</i>	2018	Kota Ambon, Provinsi Maluku	Frequency Ratio Logistic Regression Artificial Neural Network (ANN)	Peta kerentanan tanah longsor	ASTER	68,8% (RF), 68,7% (LR), 73,4% (ANN)



Gambar 4. Sumber data DEM digunakan dalam studi longsor berbasis kecerdasan buatan di Indonesia.

Potensi Pengembangan Penelitian dalam Studi Longsor Berbasis AI di Indonesia (Kontribusi)

Metode AI untuk studi tanah longsor di Indonesia telah sepenuhnya dikembangkan. Metode AI ini terutama digunakan untuk membangun model atau peta kerentanan tanah longsor. Ada beberapa aplikasi AI pada topik lain, setidaknya dalam artikel yang diterbitkan dalam jurnal terakreditasi nasional dan internasional. Distribusi artikel semacam ini mengajarkan kita bahwa banyak daerah yang dapat dijadikan topik diskusi dalam konteks tanah longsor. Metode AI untuk penyelidikan lokasi, seperti analisis stabilitas lereng atau skenario analisis balik peristiwa tanah longsor, dapat menjadi contoh untuk pengembangan studi. Area lain yang dapat disentuh dengan metode ini adalah sistem peringatan dini (EWS) kejadian longsor yang penerapannya minim di Indonesia. Melalui pemodelan EWS yang akurat, juga dapat mendukung upaya mitigasi longsor. Metode AI dapat berkontribusi pada topik ini dengan meningkatkan dan memberikan banyak opsi dalam

mengembangkan EWS tanah longsor menggunakan data terbatas.

Topik rekayasa faktor pengendali longsor juga menjadi peluang yang bisa diambil oleh peneliti longsor di Indonesia. Dengan mengembangkan metode pemilihan faktor efektif, juga dimungkinkan untuk mendapatkan model tanah longsor yang lebih berkualitas. Metode AI juga dapat membantu para ahli untuk meningkatkan faktor tanah longsor untuk meningkatkan tingkat keberhasilan. Misalnya, menggunakan metode AI untuk menentukan peringkat kontribusi setiap parameter terhadap kualitas atau tingkat keberhasilan model tanah longsor.

Topik penelitian yang juga dapat dipertimbangkan adalah analisis kesesuaian atau perilaku masing-masing metode AI dengan sumber DEM yang digunakan dalam membangun model kerentanan longsor. Setiap metode AI tentu memiliki karakteristik tersendiri, yaitu belum tentu kompatibel dengan jenis dan resolusi sebuah citra satelit. Ini adalah bahan utama untuk membangun berbagai data topografi dalam model kerentanan

tanah longsor. Menemukan skala atau resolusi DEM yang paling efektif, menggunakan Metode AI tertentu, untuk membangun model tanah longsor, juga bisa menjadi topik hangat di masa depan. Oleh karena itu, penelitian masa depan tentang topik ini juga akan menjadi kontribusi penting untuk studi tanah longsor di Indonesia.

4. Kesimpulan

Dari kajian dan analisis sistematis perkembangan studi longsor berbasis AI di Indonesia, dapat disimpulkan bahwa kajian longsor berbasis AI di Indonesia masih perlu dikembangkan ke topik yang lebih luas daripada hanya berfokus pada pemetaan kerentanan longsor. Studi menggunakan aplikasi AI untuk meningkatkan prediksi tanah longsor dengan menemukan faktor tanah longsor yang efektif juga dapat menjadi peluang baru bagi para ahli tanah longsor. Perbandingan berbagai sumber daya DEM dalam penerapan studi longsor berbasis AI juga dapat dilakukan untuk menemukan sumber yang paling optimal untuk membangun model longsor yang kuat.

Data dan Sumber Daya

Data diperoleh oleh literatur yang sudah disebutkan dalam daftar pustaka atau referensi.

Referensi

Adition, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Comparison of GIS-Based Landslide Susceptibility Models Using Frequency Ratio, Logistic Regression, and Artificial neural Network in a Tertiary Region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101–111. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2018.06.006>

Aldi, M., Siregar, I. R., & Bilqis, A. (2021). Pemetaan Daerah Rawan Longsor Menggunakan Machine Learning di Kecamatan Muara Tami, Kota Jayapura, Papua. *Jurnal Geofisika*, 19(1), 24–30. <https://doi.org/10.36435/JGF.V19I1.504>

Antosik-Wójcińska, A. Z., Dominiak, M., Chojnacka, M., Kaczmarek-Majer, K., Opara, K. R., Radziszewska, W., Olwert, A., & Świącicki, Ł. (2020). Smartphone as a Monitoring Tool for Bipolar Disorder: a Systematic Review Including Data Analysis, Machine Learning Algorithms and Predictive Modelling. *International Journal of Medical Informatics*, 138, 104131. <https://doi.org/10.1016/J.IJMEDINF.2020.104131>

Azam, F., & Fardani, I. (2022). Prediksi Daerah Potensi Longsor Menggunakan Metode Machine Learning. *Bandung Conference Series: Urban & Regional Planning*, 2(1), 52–60. <https://doi.org/10.29313/BCSURP.V2I1.1694>

Bachri, S., Utomo, K. S. B., Sumarmi, S., Fathoni, M. N., & Aldianto, Y. E. (2021). Optimalisasi Model Artificial Neural Network Menggunakan Certainty Factor (C-ANN) Untuk Pemetaan Kerawanan Tanah Longsor Skala Semi-Detil di DAS Bendo, Kabupaten Banyuwangi. *Majalah Geografi Indonesia*, 35(1), 1–8. <https://doi.org/10.22146/MGI.57869>

Bini, S. A. (2018). Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, and Cognitive Computing: What Do These Terms Mean and How Will They Impact Health Care? *The Journal of Arthroplasty*, 33(8), 2358–2361. <https://doi.org/10.1016/J.ARTH.2018.02.067>

Chikalamo, E. E., Mavrouli, O. C., Ettema, J., van Westen, C. J., Muntohar, A. S., & Mustofa, A. (2020). Satellite-derived Rainfall Thresholds for Landslide Early Warning in Bogowonto Catchment, Central Java, Indonesia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 89, 102093. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2020.102093>

Darminto, M. R., Widodo, A., Alfatinah, A., & Chu, H. J. (2021). High-resolution Landslide Susceptibility Map Generation using Machine Learning (Case Study in Pacitan, Indonesia). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(1), 369–379.

Drieka, E., Kusnantaka, F. C., & Syarbini, K. (2021). The Implementation of Artificial Intelligence for Time Pit Monitoring at Batu Hijau Site, Indonesia. Dalam E. Drieka, F. C. Kusnantaka, & K. Syarbini (Ed.), *Prosiding Temu Profesi Tahunan XXX dan Kongress XI PERHAPI 2021* (Vol. 0, Nomor 0, hlm. 179–188). <https://doi.org/10.36986/PTPTP.V0I0.262>

Fathani, T. F., Karnawati, D., & Wilopo, W. (2014). An Adaptive and Sustained Landslide

- Monitoring and Early Warning System. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 2: Methods of Landslide Studies*, 563–567. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05050-8_87/COVER
- He, Q., Jiang, Z., Wang, M., & Liu, K. (2021). Landslide and Wildfire Susceptibility Assessment in Southeast Asia Using Ensemble Machine Learning Methods. *Remote Sensing* 2021, Vol. 13, Page 1572, 13(8), 1572. <https://doi.org/10.3390/RS13081572>
- Helm, J. M., Swiergosz, A. M., Haeberle, H. S., Karnuta, J. M., Schaffer, J. L., Krebs, V. E., Spitzer, A. I., & Ramkumar, P. N. (2020). Machine Learning and Artificial Intelligence: Definitions, Applications, and Future Directions. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(1), 69–76. <https://doi.org/10.1007/S12178-020-09600-8/FIGURES/1>
- Herviany, M., Delima, S. P., Nurhidayah, T., & Kasini, K. (2021). Perbandingan Algoritma K-Means dan K-Medoids untuk Pengelompokan Daerah Rawan Tanah Longsor Pada Provinsi Jawa Barat: Comparison of K-Means and K-Medoids Algorithms for Grouping Landslide Prone Areas in West Java Province. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 1(1), 34–40.
- IImy, H. F., Darminto, M. R., & Widodo, A. (2021a). Application of Machine Learning on Google Earth Engine to Produce Landslide Susceptibility Mapping (Case Study: Pacitan). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 731(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/731/1/012028>
- IImy, H. F., Darminto, M. R., & Widodo, A. (2021b). Application of Machine Learning on Google Earth Engine to Produce Landslide Susceptibility Mapping (Case Study: Pacitan). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 731(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/731/1/012028>
- Irawan, L. Y., Sumarmi, Bachri, S., Panoto, D., Nabila, Pradana, I. H., Faizal, R., Devy, M. M. R., & Prasetyo, W. E. (2021). The Use of Machine Learning for Accessing Landslide Susceptibility Class: Study Case of Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 884(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/884/1/012006>
- Kaur, D., Uslu, S., & Duresi, A. (2021). Requirements for Trustworthy Artificial Intelligence – A Review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1264 AISC, 105–115. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57811-4_11/COVER
- Naing, M. T., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2018). Estimating the Velocity of Landslide Movement Using Visco-Plastic Model in Jeruk Sub-village, Kulon Progo District, Yogyakarta, Indonesia. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 4(3).
- Oh, H. J., Lee, S., & Soedradjat, G. M. (2010). Quantitative landslide susceptibility mapping at Pemalang area, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 60(6), 1317–1328. <https://doi.org/10.1007/S12665-009-0272-5/FIGURES/6>
- Samodra, G., & Nugroho, F. (2022a). Benchmarking landslide inventory data handling strategies for landslide susceptibility modeling based on different random forest machine learning workflows. *Research Square (Preprint)*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-1441095/V1>
- Samodra, G., & Nugroho, F. (2022b). Benchmarking landslide inventory data handling strategies for landslide susceptibility modeling based on different random forest machine learning workflows. *Research Square (Preprint)*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-1441095/V1>
- Susetyo, Y. A. (2018). Kombinasi Algoritma Spatial Autocorrelation G* dan Algoritma C5.0 untuk Deteksi Daerah Rawan Longsor di Pulau Jawa. *Jurnal Buana Informatika*, 9(2), 101–114. <https://doi.org/10.24002/JBI.V9I2.1706>
- Tehrani, F. S., Calvello, M., Liu, Z., Zhang, L., & Lacasse, S. (2022). Machine Learning and Landslide Studies: Recent Advances and Applications. *Natural Hazards* 2022, 1–49. <https://doi.org/10.1007/S11069-022-05423-7>
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M. N., & Tehrany, M. S. (2014). Earthquake Induced Landslide Susceptibility Mapping Using an Integrated Ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia. *CATENA*, 118, 124–135. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2014.02.005>
- Wee, I. J. Y., Kuo, L. J., & Ngu, J. C. Y. (2020). A systematic review of the true benefit of robotic surgery: Ergonomics. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 16(4), e2113. <https://doi.org/10.1002/RCS.2113>
- Widiastari, A., Solikhun, S., & Irawan, I. (2021). Analisa Datamining dengan Metode Klasifikasi

C4.5 Sebagai Faktor Penyebab Tanah Longsor.
Journal of Computer System and Informatics (JoSYC), 2(3), 247–255.

Xue, C., Chen, K., Tang, H., Lin, C., & Cui, W. (2022). Using Short-Interval Landslide Inventories to Build Short-Term and Overall

Spatial Prediction Models for Earthquake-Triggered Landslides Based on Machine Learning for the 2018 Lombok Earthquake Sequence. *Natural Hazards*, 1–21.
<https://doi.org/10.1007/S11069-022-05532-3>