PEMODELAN KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN EVALUASI MULTI – KRITERIA BERBASIS GOOGLE EARTH ENGINE DI PROVINSI KALIMANTAN BARAT

YOHANNA GABRIELL RICHSITA
H1091221038

SKRIPSI

PROGRAM STUDI STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

PEMODELAN KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN EVALUASI MULTI – KRITERIA BERBASIS GOOGLE EARTH ENGINE DI PROVINSI KALIMANTAN BARAT

YOHANNA GABRIELL RICHSITA
H1091221038

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Statistika pada Program Studi Statistika

PROGRAM STUDI STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Pemodelan Kerawanan Longsor Menggunakan Evaluasi Multi - Kriteria Berbasis *Google Earth Engine* Di Provinsi Kalimantan Barat
Nama Mahasiswa	: Yohanna Gabriell Richsita
NIM	: H1091221038
Jurusan/Program Studi	: Matematika/Statistika
Tanggal Lulus	: 11 Juni 2026
SK Pembimbing	: No. 3593/UN22.8/TD.06/2025 /Tanggal 09 Oktober 2025
SK Penguji	: No. 2891/DST/UN22.8/DT.00.09/2026 /Tanggal 08 Juni 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Neva Satyahadewi, M.Sc.,CRA.,CRP.,CRMP.	Hendra Perdana, M.Sc.
NIP 198212042005012001	NIP 198810102019031020

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Nurfitri Imro'ah, M.Si.	Shantika Martha, M.Si.
NIP 198907182019032021	NIP 198403082008122003

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Neva Satyahadewi, M.Sc.,CRA.,CRP.,CRMP.	Hendra Perdana, M.Sc.
NIP 198212042005012001	NIP 198810102019031020

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, M.Si.
NIP 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Yohanna Gabriell Richsita
NIM	: H1091221038
Program Studi/ Jurusan	: Matematika/Statistika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 8 Juni 2026



Yohanna Gabriell Richsita

H1091221038

Pemodelan Kerawanan Longsor Menggunakan Evaluasi Multi - Kriteria Berbasis Google Earth Engine Di Provinsi Kalimantan Barat

Abstrak

Tanah longsor merupakan bencana yang dipengaruhi oleh kombinasi faktor pengontrol dan pemicu yang bervariasi secara spasial, sehingga pemetaan kerawanan berbasis data geospasial diperlukan untuk mendukung mitigasi dan perencanaan wilayah. Penelitian ini bertujuan menyusun peta kerawanan longsor Provinsi Kalimantan Barat menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Evaluasi Multikriteria (*Multi-Criteria Evaluation*/MCE) pada platform *Google Earth Engine* (GEE). Empat parameter utama digunakan, yaitu kemiringan lereng (diturunkan dari DEM), curah hujan (dataset CHIRPS), tutupan lahan (hasil/produk land cover tahun 2024), dan jenis tanah (kelas/tekstur tanah). Setiap parameter direklasifikasi ke dalam kelas kerawanan dan diberi skor ordinal 1–5, kemudian digabungkan menggunakan *Weighted Linear Combination* melalui teknik *weighted overlay* dengan bobot: kemiringan lereng 0,4; curah hujan 0,3; tutupan lahan 0,2; dan jenis tanah 0,1. Output berupa indeks kerawanan (LSI) kemudian diklasifikasikan menjadi empat kelas kerawanan: rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa wilayah Kalimantan Barat secara umum didominasi kelas kerawanan rendah hingga sedang, sedangkan kelas tinggi–sangat tinggi cenderung terkonsentrasi pada zona perbukitan/pedalaman, terutama pada bagian tengah–timur hingga timur laut. Validasi dilakukan secara kualitatif melalui evaluasi kewajaran pola spasial terhadap karakteristik fisik wilayah dan informasi rujukan kebencanaan. Peta kerawanan yang dihasilkan bersifat indikatif sebagai representasi potensi relatif dan dapat digunakan sebagai dasar awal penentuan prioritas mitigasi serta pengendalian pemanfaatan ruang.

Kata kunci: Tanah Longsor, Kerawanan Longsor, Evaluasi Multi-Kriteria, Sistem Informasi Geografis, Google Earth Engine.

Landslide Susceptibility Modeling Using Multi-Criteria Evaluation Based on Google Earth Engine in West Kalimantan Province

Abstract

Landslides are triggered by the spatial interaction of controlling and triggering factors, making geospatial susceptibility mapping essential for disaster mitigation and spatial planning. This study develops a landslide susceptibility map for West Kalimantan Province, Indonesia, by integrating Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Evaluation (MCE) within Google Earth Engine (GEE). Four key parameters were used: slope derived from a digital elevation model, rainfall from the CHIRPS dataset, land cover from a 2024 land-cover product, and soil properties represented by soil class/texture. Each parameter was reclassified into susceptibility classes and assigned ordinal scores from 1 to 5. The final susceptibility index was computed using a Weighted Linear Combination (weighted overlay) with the following weights: slope 0.4, rainfall 0.3, land cover 0.2, and soil 0.1. The resulting susceptibility index (LSI) was then classified into four susceptibility levels: low, moderate, high, and very high. The results indicate that West Kalimantan is largely dominated by low to moderate susceptibility, while high to very high susceptibility zones are mainly concentrated in upland and hilly interiors, particularly across the central–eastern and northeastern parts of the province. Model evaluation was conducted qualitatively by assessing the spatial plausibility of the susceptibility pattern against regional physical characteristics and available hazard references. The produced map is indicative, representing relative susceptibility, and can support preliminary prioritization for mitigation actions and land-use control.

Keywords: *landslide susceptibility, multi-criteria evaluation, GIS, remote sensing, Google Earth Engine*

PRAKATA

Penulis memanjatkan rasa syukur atas segala rahmat, kesempatan, dan kelancaran yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Pemodelan Kerawanan Longsor Menggunakan Evaluasi Multi - Kriteria Berbasis Google Earth Engine Di Provinsi Kalimantan Barat**". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaian karya ilmiah ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, Allah Bapa yang baik dan penuh kasih yang telah membekali penulis dengan akal, hikmat, dan kekuatan serta menuntun dan melindungi penulis dalam kehidupan yang penuh tantangan, penulis mengucap syukur atas apapun yang telah penulis lewati dalam hidup ini, terkhususnya dalam dunia perkuliahan, jika bukan karena kebaikan Tuhan, penulis mungkin tidak akan bisa mencapai hingga dititik ini, segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus untuk segala kebaikan dan kemurahan yang diberikan oleh-Nya.
2. Kedua orang tua tercinta, oppung Deli, tulang, nantulang, dan seluruh keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, serta doa kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Neva Satyahadewi, M.Sc., CRA., CRP., CRMP. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta masukan yang sangat berharga kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi hingga selesai.
4. Bapak Hendra Perdana, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan saran, serta masukan konstruktif kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Nurfitri Imro'ah, M.Si. selaku Dosen Penguji Pertama yang telah memberikan arahan serta masukan yang sangat berharga kepada penulis selama proses perkuliahan, terkhususnya dalam pengujian skripsi hingga selesai.
6. Ibu Shantika Martha, M.Si. selaku Dosen Penguji Kedua yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran, serta masukan konstruktif kepada penulis selama proses perkuliahan hingga pengujian skripsi ini.
7. Seluruh dosen Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura yang telah memberikan ilmu dan pengalaman akademik selama masa perkuliahan.

8. Dolly Yefta Ihutan Sinambela, Rizky Hasyara Putri, I Gusti Ayu Naysila F, dan Jessika Theresia Nova sebagai teman akrab yang sudah seperti keluarga bagi penulis yang selalu memberikan semangat dukungan dan mendukung penulis dalam keadaan dan situasi apapun.
9. Teman-teman Statistika angkatan 2022 *Majestic* yang telah membersamai penulis selama menjalani perkuliahan serta memberikan dukungan dan kebersamaan yang berkesan.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi kepada penulis baik selama masa perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang statistika dan penelitian sosial ekonomi.

Pontianak, 8 Juni 2026

Yohanna Gabriell Richsita

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK ..... **iii**
Abstrak ..... **iv**
Abstract ..... **v**
PRAKATA ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xii**
DAFTAR SIMBOL ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Tinjauan Pustaka 5
1.6 Metode Penelitian 8
BAB II LANDASAN TEORI **10**
2.1 Tanah Longsor 11
2.2 Kerawanan Longsor 12
2.3 Data Spasial dan Penginderaan Jauh 14
2.4 *Google Earth Engine* (GEE) 15
2.5 Tabel Distribusi Frekuensi 17
2.6 Perhitungan dan Klasifikasi Kemiringan Lereng 19
2.7 Metode *Weighted Linear Combination* (WLC) 20
2.8 Metode Klasifikasi Quantile 22
BAB III TEKNIK EVALUASI MULTI KRITERIA **25**
3.1 Konsep Dasar Evaluasi Multi-Kriteria (MCE) 25
3.2 Metode Scoring dalam Evaluasi Kerawanan 27
3.2.1 Standarisasi dan Skoring Faktor 28
3.2.2 Penentuan Bobot Faktor 29
3.2.3 Penggabungan Faktor (*Weighted Overlay*) 30
3.3 Integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan MCE 32
3.4 Tahapan Analisis Dalam Google Earth Engine 33
3.5 Validasi Kualitatif 35
3.6 Keterbatasan Metode *Scooring* 36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **38**
4.1 Daerah Penelitian 38

4.2 Analisis Setiap Kriteria Penentu Kerawanan Longsor 40
4.3 Kondisi Fisik Wilayah dan Faktor Kerawanan 42
4.3.1 Kemiringan Lereng *(Slope)* 43
4.3.2 Curah Hujan (mm/tahun) 45
4.3.3 Jenis Tanah (Tekstur USDA) 48
4.3.4 Tutupan Lahan (Landsat 2024) 50
4.4 Peta Kerawanan Longsor Menggunakan MCE 53
BAB V PENUTUP 60
5.1 Kesimpulan 60
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Contoh Skoring Variabel Penentu Kerawanan Longsor 31
Tabel 4.1 Parameter Pemetaan Kerawanan Longsor 41
Tabel 4.2 Skoring Rentang Kemiringan Lereng *(Slope)* 44
Tabel 4.3 Skoring Rentang Curah Hujan (*Rainfall)* 47
Tabel 4.4 Skoring Klasifikasi Jenis Tanah 50
Tabel 4.5 Skoring Klasifikasi Tutupan Lahan 52
Tabel 4.6 Persentase dan Luas Wilayah Kerawanan Longsor per Kabupaten/Kota 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Flowchart Penelitian 10
Gambar 4.1 Peta Kerawanan Longsor Berdasarkan *Slope* (Kemiringan Lereng) 43
Gambar 4.2 Peta Kerawanan Longsor Berdasarkan *Rainfall* (Curah Hujan) 46
Gambar 4.3 Peta Kerawanan Longsor Berdasarkan Jenis Tanah 49
Gambar 4.4 Peta Kerawanan Longsor Berdasarkan Tutupan Lahan 51
Gambar 4.5 Peta Kerawanan Longsor di Kalimantan Barat Menggunakan MCE 55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Syntax Google Earth Engine* 66

DAFTAR SIMBOL

X_{max} : Skor atau nilai tertinggi

X_{min} : Skor atau nilai terendah

K : Interval kelas

n : Banyaknya faktor

P : Panjang kelas interval

R : *Range*

LSI : *Landslide Susceptibility Index* (indeks kerawanan longsor),

w_i : bobot faktor ke-*i*,

s_i : skor kelas pada faktor ke-*i*,

S_{slope} : Skoring Kemiringan Lereng

S_{CH} : Skoring Curah Hujan

S_{LC} : Skoring *Land Cover* atau Tutupan Lahan

S_{JT} : Skoring Jenis Tanah

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah longsor merupakan salah satu bencana hidrometeorologis yang paling sering terjadi di Indonesia dan menimbulkan dampak signifikan terhadap aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa sepanjang periode 2018–2023 terjadi sekitar 591–1.326 kejadian tanah longsor per tahun, dengan bencana hidrometeorologi basah secara konsisten mendominasi kejadian bencana nasional (BNPB, 2023; Geosains Indonesia, 2024). Pada skala regional, dokumen Kajian Risiko Bencana Provinsi Kalimantan Barat 2022–2026 mengindikasikan bahwa wilayah perbukitan di Kabupaten Bengkayang, Landak, Sanggau, dan Kapuas Hulu memiliki tingkat kerentanan terhadap gerakan tanah yang relatif tinggi (BNPB, 2021; Perdhana et al., 2023).

Kejadian tanah longsor dipengaruhi oleh kombinasi faktor alamiah dan antropogenik. Faktor alamiah meliputi kemiringan lereng, litologi, jenis tanah, tingkat pelapukan, serta intensitas dan durasi curah hujan, sedangkan faktor antropogenik berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan, pembukaan hutan, dan pembangunan infrastruktur pada lereng curam. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa lereng curam, batuan lapuk, tanah bertekstur halus, serta curah hujan tinggi merupakan kondisi yang secara signifikan meningkatkan potensi longsor, terutama ketika disertai alih fungsi lahan yang tidak terkendali (Nasiah & Invanni, 2014; Salafudin et al., 2025). Kondisi geomorfologi Kalimantan Barat yang didominasi wilayah perbukitan dengan curah hujan tahunan tinggi (>2.300 mm/tahun) semakin memperkuat tingkat kerentanan longsor di wilayah tengah dan utara provinsi (Perdhana et al., 2023).

Tingginya tingkat kerentanan serta sebaran longsor yang tidak merata secara geografis menuntut adanya pemetaan tingkat kerawanan longsor sebagai dasar perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana. Karena faktor-faktor pemicu longsor memiliki karakteristik spasial, analisis kerawanan longsor memerlukan pendekatan

spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pendekatan ini memungkinkan integrasi berbagai parameter lingkungan ke dalam satu kerangka analisis untuk mengidentifikasi zona-zona rawan secara sistematis dan mudah diinterpretasikan oleh pengambil kebijakan (BNPB, 2023; Nsengiyumva et al., 2018).

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pemetaan kerawanan longsor adalah evaluasi multi-kriteria (*Multi-Criteria Evaluation* / MCE) berbasis SIG. Metode ini mengintegrasikan berbagai faktor penyebab longsor melalui proses klasifikasi, pemberian skor, pembobotan, dan *overlay* untuk menghasilkan indeks kerawanan yang terdistribusi secara spasial. Pendekatan multikriteria *scoring* memiliki keunggulan dari sisi transparansi dan kemudahan interpretasi dibandingkan metode statistik atau machine learning, karena setiap tahapan analisis dapat ditelusuri secara konseptual (Malczewski, 1999; Meena et al., 2019).

Perkembangan platform komputasi awan geospasial, seperti *Google Earth Engine* (GEE), semakin memperkuat penerapan evaluasi multi-kriteria dengan menyediakan akses terhadap data spasial berskala besar dan pemrosesan yang efisien (Gorelick et al., 2017). Namun demikian, kajian pemetaan kerawanan longsor berbasis GEE pada skala provinsi di Kalimantan Barat masih relatif terbatas. Selain itu, keterbatasan data kejadian longsor historis yang lengkap dan terverifikasi secara spasial menjadi kendala dalam penerapan metode yang memerlukan data latih dalam jumlah besar. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan pendekatan evaluasi multi-kriteria berbasis skoring menggunakan *Google Earth Engine* untuk memetakan tingkat kerawanan longsor di Provinsi Kalimantan Barat. Pendekatan ini dinilai sederhana namun aplikatif, serta relevan untuk mendukung perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana di wilayah dengan keterbatasan data.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan teknik evaluasi multi-kriteria berbasis Sistem Informasi Geografis dan *Google Earth Engine* dalam membuat peta dan mengklasifikasikan tingkat kerawanan longsor di Provinsi Kalimantan Barat?
2. Faktor-faktor lingkungan apa saja yang digunakan dalam penyusunan model kerawanan longsor, dan bagaimana kontribusi masing-masing faktor terhadap tingkat kerawanan longsor di Provinsi Kalimantan Barat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menerapkan teknik evaluasi multi-kriteria berbasis Sistem Informasi Geografis dan *Google Earth Engine* dalam membuat peta dan klasifikasi tingkat kerawanan longsor di Provinsi Kalimantan Barat.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor lingkungan yang berperan dalam menentukan tingkat kerawanan longsor, seperti kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, dan tutupan lahan.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan fokus, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Wilayah kajian terbatas pada Provinsi Kalimantan Barat, yang secara administratif meliputi 14 kabupaten/kota. Pemilihan Provinsi Kalimantan Barat sebagai area studi didasarkan pada tingginya potensi kejadian tanah longsor di beberapa wilayah perbukitan, ketersediaan data spasial yang memadai, serta kebutuhan pemetaan kerawanan yang spesifik untuk mendukung kebijakan mitigasi di tingkat daerah (BNPB, 2021, 2023).
2. Sumber data dan platform pengolahan yang digunakan adalah data geospasial terbuka yang tersedia pada platform *Google Earth Engine* (GEE) dan data vektor nasional. Pengolahan data, perhitungan parameter, dan penyusunan indeks kerawanan dilakukan sepenuhnya di lingkungan GEE, kecuali untuk

tahapan kartografis akhir (layout peta) yang dapat dibantu dengan perangkat lunak SIG desktop.

3. Faktor-faktor yang digunakan dalam pemodelan kerawanan longsor dibatasi pada empat variabel lingkungan berikut:
    a. Curah hujan: diperoleh dari dataset curah hujan satelit (misalnya *CHIRPS*) yang diolah menjadi nilai rata-rata atau kumulatif pada periode 1 Januari 2024 hingga 1 Januari 2025 untuk merepresentasikan intensitas/tingkat pemicu hidrologis.
    b. Kemiringan lereng (*slope*): dihitung dari data *Digital Elevation Model* (DEM) seperti SRTM yang diperoleh dari misi radar topografi global yang dilaksanakan pada Februari 2000. Parameter ini menunjukkan kondisi topografi yang berpengaruh langsung terhadap kestabilan lereng.
    c. Jenis tanah: diperoleh dari data/peta tanah (misalnya peta tanah nasional atau produk tanah global) yang menggambarkan sifat fisik tanah, terutama tekstur, permeabilitas, dan kemampuan menahan air, yang berpengaruh terhadap kejenuhan serta kekuatan geser tanah.
    d. Tutupan lahan: diperoleh dari dataset tutupan lahan (misalnya *MODIS Land Cover Type* atau produk land cover lain yang tersedia di GEE) pada periode 1 Januari 2024 – 1 Januari 2025. Parameter ini merepresentasikan kondisi penutupan/pemanfaatan lahan (misalnya hutan, semak, pertanian, lahan terbuka, permukiman) yang memengaruhi kerawanan melalui perlindungan vegetasi, limpasan permukaan, dan tingkat gangguan lahan.
4. Metode analisis dibatasi pada pendekatan evaluasi multi-kriteria berbasis SIG dan GEE melalui tahapan:
    - Standardisasi/klasifikasi tiap faktor,
    - Pemberian skor sesuai tingkat pengaruh terhadap longsor,

- Penentuan bobot relatif antar faktor, dan
- *Weighted overlay* untuk menghasilkan indeks kerawanan longsor.

5. Keluaran penelitian terbatas pada:
    - Peta klasifikasi tingkat kerawanan longsor (misalnya kelas rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi), dan
    - Evaluasi kesesuaian peta kerawanan terhadap data historis kejadian longsor (jika tersedia) dan interpretasi kondisi fisik wilayah.

    Analisis risiko yang mencakup aspek paparan penduduk, nilai aset, maupun kerugian ekonomi tidak dilakukan, sehingga hasil penelitian hanya merepresentasikan kerawanan (*susceptibility*), bukan risiko (*risk*) secara komprehensif.

1.5 Tinjauan Pustaka

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan menimbulkan kerugian besar baik secara sosial maupun ekonomi (BNPB, 2023). Dalam kajian kebencanaan, kerawanan (*susceptibility*) diartikan sebagai kecenderungan suatu wilayah untuk mengalami longsor berdasarkan kondisi fisik lingkungan, tanpa mempertimbangkan aspek frekuensi kejadian maupun nilai kerugian yang mungkin timbul. Dengan demikian, kerawanan dibedakan dari hazard yang memasukkan dimensi probabilitas waktu, dan risk yang juga memperhitungkan paparan (*exposure*) dan kerentanan (*vulnerability*) terhadap dampak bencana (Gu et al., 2023; Mosaffaie et al., 2024). Pemetaan tingkat kerawanan longsor (*landslide susceptibility mapping*) menjadi salah satu instrumen kunci dalam mitigasi dan perencanaan tata ruang, terutama di wilayah berisiko tinggi seperti Provinsi Kalimantan Barat yang dalam Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) 2024 diklasifikasikan memiliki potensi bahaya gerakan tanah di sejumlah kabupaten perbukitan (BNPB, 2024).

Faktor-faktor yang memengaruhi tingkat kerawanan longsor pada umumnya meliputi karakteristik topografi, hidrologi, geologi–tanah, tutupan lahan, vegetasi, serta pengaruh aktivitas manusia. Variabel topografi yang diturunkan dari *Digital Elevation Model (DEM)*, seperti ketinggian, kemiringan lereng (*slope*), dan bentuk lereng *(curvature)*, sering dijadikan indikator utama kestabilan lereng (Akinci et al., 2020; Patriche et al., 2021). Curah hujan, yang di daerah tropis dapat direpresentasikan menggunakan dataset satelit seperti *CHIRPS*, berperan sebagai faktor pemicu utama karena meningkatkan kejenuhan tanah dan tekanan pori (Funk et al., 2015). Parameter hidrologi turunan seperti *Topographic Wetness Index (TWI)* banyak digunakan untuk menggambarkan kecenderungan akumulasi air di suatu lokasi dan potensi kejenuhan lereng. Kondisi vegetasi umumnya dievaluasi *menggunakan Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang mencerminkan kerapatan dan kesehatan vegetasi; nilai NDVI yang rendah mengindikasikan tutupan vegetasi jarang dan cenderung meningkatkan kerentanan terhadap erosi dan longsor (Kumar & Mutanga, 2018). Sementara itu, bentuk tanah, bentuk lahan, tutupan lahan, jarak dari sungai, serta infrastruktur seperti jaringan jalan dan permukiman menggambarkan kombinasi sifat material dan tekanan aktivitas manusia yang dapat memperlemah kestabilan lereng (Pangaribuan et al., 2019; BIG, 2020).

Dalam dua dekade terakhir, evaluasi multi-kriteria (*Multi-Criteria Evaluation*/MCE) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) menjadi salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan untuk pemetaan kerawanan longsor. Metode ini mengintegrasikan berbagai faktor pemicu longsor yang dipetakan secara spasial melalui tahapan penentuan kriteria, standardisasi/klasifikasi, pemberian skor, pembobotan, dan *weighted overlay* untuk menghasilkan indeks kerawanan. Nsengiyumva et al. (2018), misalnya, menerapkan model *Spatial Multi-Criteria Evaluation* (SMCE) dengan beberapa faktor pemicu dan menunjukkan bahwa kelas kerawanan tinggi–sangat tinggi secara spasial konsisten dengan sebaran longsor historis. Meena et al. (2019) membandingkan metode *Frequency Ratio* (FR), *Analytical Hierarchy Process* (AHP), dan SMCE untuk pemetaan kerawanan longsor di Kullu

Valley, India, dan melaporkan bahwa model hybrid AHP–SMCE mampu menghasilkan nilai *Area Under Curve* (AUC) di atas 0,90, yang menunjukkan performa prediktif yang sangat baik. Pada skala nasional, Patriche et al. (2021) mengembangkan peta kerawanan longsor dengan mengombinasikan frekuensi longsor dan model SMCE berbasis tiga prediktor utama (kemiringan, litologi, dan tutupan lahan) dan memperoleh nilai AUC sekitar 0,75 yang dinilai memadai untuk perencanaan risiko pada wilayah luas.

Di Indonesia, pendekatan multi-kriteria berbasis SIG juga telah banyak diterapkan untuk pemetaan daerah rawan longsor. Pangaribuan et al. (2019) menggunakan kombinasi Standar Nasional Indonesia (SNI) dan AHP untuk memetakan daerah rawan longsor di Kabupaten Magelang dan menunjukkan bahwa zona kerawanan tinggi umumnya berasosiasi dengan lereng curam, jenis tanah tertentu, dan tutupan lahan yang terdegradasi. Penelitian lain menunjukkan bahwa teknik *weighted overlay* dengan parameter curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan penggunaan lahan dapat menghasilkan zonasi bahaya longsor yang relevan untuk mendukung rencana tata ruang dan mitigasi bencana (Arshid et al., 2024; Pratiwi et al., 2021). Secara umum, kajian-kajian tersebut menegaskan bahwa metode multi-kriteria masih sangat relevan karena proses skoring dan pembobotannya relatif transparan, dapat ditelusuri, dan memungkinkan keterlibatan pakar dalam penentuan bobot.

Perkembangan platform komputasi awan geospasial seperti *Google Earth Engine* (GEE) semakin memperkuat pemanfaatan metode multi-kriteria dalam pemodelan kerawanan bencana. GEE merupakan platform komputasi awan yang mengintegrasikan katalog data geospasial *multi-petabyte* termasuk SRTM DEM, CHIRPS, citra Landsat dan Sentinel, NDVI MODIS, serta berbagai produk tutupan lahan dengan kemampuan komputasi paralel berskala besar yang dapat diakses melalui antarmuka *JavaScript* atau *Python* (Gorelick et al., 2017). Hilalliyah dan Namigo (2025) menerapkan teknik evaluasi multi-kriteria berbasis GEE untuk pemetaan zona rawan longsor di kawasan Agam–Bukittinggi, Sumatra Barat, melalui tahapan skoring, klasifikasi, dan *overlay* terhadap beberapa parameter utama, dan menunjukkan bahwa

integrasi SIG, GEE, serta MCE memungkinkan pemrosesan yang lebih cepat pada cakupan wilayah luas. Kajian-kajian lain terkait kerentanan dan bahaya longsor juga menegaskan bahwa kombinasi SIG, *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA), dan data penginderaan jauh efektif untuk menghasilkan peta kerawanan yang dapat diandalkan sebagai dasar perencanaan tata ruang dan mitigasi (Yassar et al., 2020; Nurfauzi et al., 2024).

Meskipun demikian, penerapan evaluasi multi-kriteria berbasis *Google Earth Engine* (GEE) untuk pemetaan kerawanan longsor di Provinsi Kalimantan Barat masih terbatas. Penelitian di wilayah ini umumnya berfokus pada zonasi kerawanan/bahaya menggunakan SIG desktop atau pendekatan lain dengan cakupan wilayah yang relatif sempit. Selain itu, integrasi parameter biofisik dalam satu kerangka analisis multikriteria pada skala provinsi masih jarang dilakukan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait penyusunan peta kerawanan longsor yang sistematis, transparan, dan dapat direplikasi dengan memanfaatkan data terbuka. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui penerapan evaluasi multi-kriteria berbasis SIG dan *Google Earth Engine* guna memetakan tingkat kerawanan longsor di Provinsi Kalimantan Barat dengan mengintegrasikan empat faktor lingkungan utama, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan tutupan lahan, sehingga menghasilkan peta kerawanan berskala provinsi sebagai dasar awal perencanaan mitigasi.

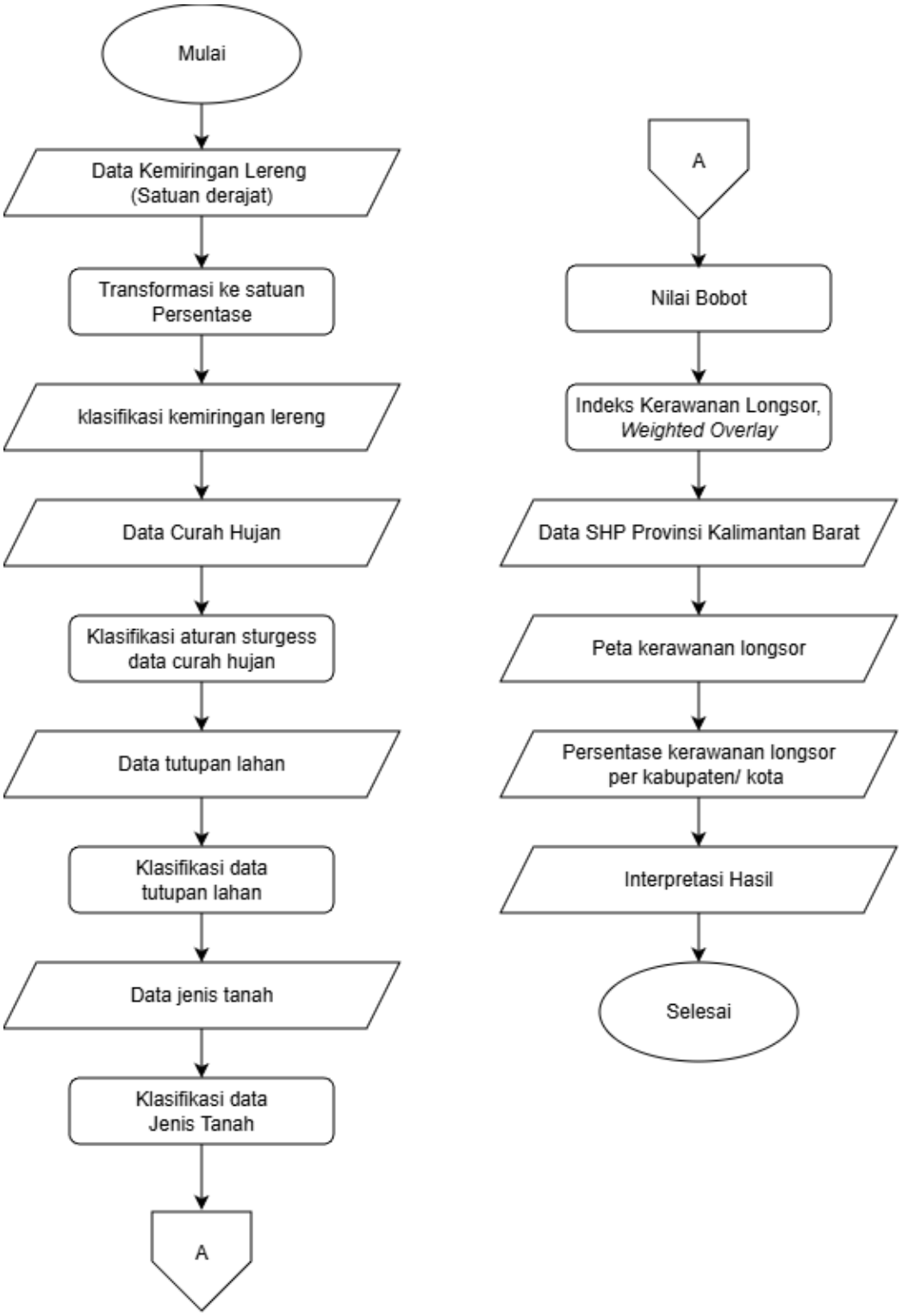
1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis spasial dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan *Google Earth Engine* (GEE) sebagai platform utama pengolahan data. Metode analisis yang diterapkan adalah Evaluasi Multikriteria (*Multi-Criteria Evaluation*/MCE) untuk menyusun dan mengklasifikasikan tingkat kerawanan tanah longsor di Provinsi Kalimantan Barat.

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data spasial yang merepresentasikan empat parameter utama, yaitu data topografi (DEM) untuk menurunkan kemiringan lereng, data curah hujan (misalnya CHIRPS), data tutupan lahan (produk *land cover*), serta data jenis tanah (kelas/tekstur tanah). Seluruh data dipotong sesuai batas wilayah penelitian, kemudian diseragamkan pada sistem proyeksi dan resolusi spasial yang sama agar kompatibel untuk analisis raster.

Selanjutnya, setiap parameter direklasifikasi (*reclass*) ke dalam kelas-kelas kerawanan dan diberi skor ordinal (1–5) berdasarkan tingkat kontribusi relatifnya terhadap kerawanan longsor dengan mengacu pada literatur ilmiah dan penelitian terdahulu. Proses evaluasi multikriteria dilakukan menggunakan metode *Weighted Linear Combination* (WLC), yaitu mengalikan skor tiap parameter dengan bobot kepentingannya dan menjumlahkan seluruh hasilnya untuk memperoleh indeks kerawanan. Bobot yang digunakan adalah kemiringan lereng 0,4; curah hujan 0,3; tutupan lahan 0,2; dan jenis tanah 0,1.

Proses integrasi, *overlay* raster, dan perhitungan spasial dilakukan secara komputasional di *Google Earth Engine* sehingga seluruh tahapan dapat dijalankan secara konsisten dan dapat direplikasi. Hasil akhir penelitian berupa peta indeks kerawanan serta peta kelas kerawanan longsor yang diklasifikasikan menjadi beberapa kategori (rendah hingga sangat tinggi), kemudian diinterpretasikan secara deskriptif sebagai informasi pendukung untuk mitigasi bencana dan perencanaan berbasis wilayah.



Gambar 1.1 Flowchart Penelitian