

Analisis Volume Longsor Berbasis Pengukuran Lapangan dan Fotogrametri UAV pada Jalan Kuburan Cina, Samarinda Ilir

Agustin Abraham Juk^{1)*}, Hamzah Umar¹⁾, Fatmah Rahinah Nuraini¹⁾, Marsandha¹⁾

¹⁾Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Geologi, Universitas Mulawarman

E-mail: gustinnnn924@gmail.com

ABSTRAK

Longsor yang terjadi di Jalan Kuburan Cina, Sidomulyo, Samarinda Ilir, merupakan bentuk kegagalan lereng yang dipengaruhi oleh kondisi geologi, morfologi, hidrologi, serta aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan menghasilkan estimasi volume longsor yang akurat melalui integrasi pengukuran lapangan langsung dengan pemodelan fotogrametri berbasis UAV. Data sebelum kejadian diperoleh dari citra Google Earth untuk merepresentasikan kondisi permukaan awal, sedangkan data pascakejadian dikumpulkan melalui pemetaan UAV dan diolah menggunakan Agisoft Metashape untuk menghasilkan ortomosaik dan Digital Elevation Model (DEM), dengan pengamatan lapangan digunakan untuk menentukan batas longsor dan memverifikasi perubahan permukaan. Lokasi penelitian didominasi oleh lempung terlapukkan yang berasal dari Formasi Pulau Balang dan Formasi Balikpapan, dengan *Strike* dan *dip* N46°E/65°, yang memengaruhi pergerakan translasi massa longsor, di mana lempung plastis mengalami penurunan kuat geser yang signifikan saat jenuh sehingga meningkatkan ketidakstabilan lereng. Analisis spasial menggunakan pendekatan AHP–GIS menunjukkan bahwa kemiringan lereng merupakan faktor paling berpengaruh, diikuti oleh perubahan tutupan lahan, litologi, dan intensitas curah hujan. Perhitungan manual menghasilkan estimasi volume longsor sekitar 10.873 m³, sedangkan metode fotogrametri UAV memberikan nilai yang lebih representatif sebesar 7.979,1 m³ dengan selisih sekitar 27 persen, yang menegaskan keunggulan pemodelan UAV dalam menangkap variasi permukaan secara lebih detail. Integrasi data UAV dengan verifikasi lapangan terbukti sebagai metode yang andal untuk menghasilkan estimasi volume longsor berpresisi tinggi sebagai dasar perencanaan mitigasi dan strategi stabilisasi lereng di masa mendatang.

Kata Kunci: Longsor, fotogrametri UAV, volume longsor, Metashape, AHP–GIS

ABSTRACT

The landslide along Jalan Kuburan Cina in Sidomulyo, Samarinda Ilir, reflects a slope failure controlled by geological conditions, morphology, hydrology, and human activities. This study aims to produce an accurate estimation of landslide volume by integrating direct field measurements with UAV-based photogrammetric modeling. Pre-event data were taken from Google Earth imagery to represent the original surface, while post event data were acquired through UAV mapping and processed in Agisoft Metashape to generate an orthomosaic and a Digital Elevation Model (DEM). Field observations were used to identify the landslide boundaries and verify surface changes. The site is mainly composed of weathered clay derived from the Pulau Balang and Balikpapan Formations, with a strike and dip of N46°E/65°, which influenced the translational movement of the failed mass. The plastic clay showed a notable reduction in shear strength during saturation, contributing to the slope's instability. Spatial analysis using the AHP–GIS approach indicated that slope gradient was the most influential factor, followed by land-cover change, lithology, and rainfall intensity. Manual calculations produced a landslide volume estimate of approximately 10,873 m³, while the UAV photogrammetry method yielded a more representative value of 7,979.1 m³, showing a difference of roughly 27 percent. The comparison highlights the advantage of UAV modeling in capturing detailed surface variations that are often missed in manual approaches. The integration of UAV data with field verification demonstrates a reliable method for generating high-precision landslide volume estimates, providing a stronger basis for future mitigation planning and slope stabilization strategies.

Keyword: Landslide, UAV photogrammetry, landslide volume, Metashape, AHP–GIS

1. Pendahuluan

Permasalahan longsor di kawasan perkotaan menjadi isu penting yang perlu ditangani secara serius, terutama di wilayah dengan kondisi geologi dan topografi yang rentan seperti Kota Samarinda. Kecamatan Samarinda Ilir, khususnya pada ruas Jalan Kuburan Cina, merupakan salah satu area yang kerap mengalami gangguan kestabilan lereng akibat kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia. Kondisi tanah pelapukan yang tebal, kemiringan lereng yang cukup curam, intensitas hujan tinggi, serta kurangnya vegetasi seperti pepohonan di sekitar lereng menjadi pemicu terjadinya longsor berulang. Kejadian tersebut tidak hanya mengganggu kelancaran transportasi dan mengancam keselamatan pengguna jalan, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi bagi masyarakat yang mengandalkan jalur ini sebagai akses utama.

Dalam upaya memahami karakteristik dan dampak longsor, salah satu aspek penting yang harus dianalisis adalah besarnya volume material yang mengalami pergerakan. Informasi mengenai volume longsor sangat penting dalam proses perencanaan perbaikan, penentuan desain penanganan lereng, serta evaluasi risiko untuk mencegah kejadian serupa di masa depan. Namun, metode estimasi konvensional seperti pengukuran manual, interpretasi visual, atau perkiraan berbasis sketsa lapangan sering kali kurang akurat dan memerlukan waktu lama. Ketidakpastian ini dapat berdampak pada kesalahan dalam perhitungan kebutuhan material perbaikan maupun pemilihan metode stabilisasi yang tepat.

Pemanfaatan teknologi fotogrametri berbasis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) menjadi salah satu terobosan penting dalam kajian geoteknik dan kebencanaan, khususnya dalam pemetaan dan analisis longsor. UAV memungkinkan pengambilan foto udara resolusi tinggi yang kemudian diolah menjadi model 3D, orthophoto, serta *Digital Elevation Model* (DEM) dengan tingkat ketelitian yang sulit dicapai oleh metode tradisional. Ketika data UAV dikombinasikan dengan pengukuran lapangan seperti penentuan batas longsor, kedalaman retakan, dan dokumentasi visual, analisis volume longsor menjadi lebih komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan. Melalui integrasi kedua metode ini, penelitian di Jalan Kuburan Cina diharapkan mampu memberikan gambaran objektif mengenai tingkat kerusakan, pola pergerakan tanah, serta kebutuhan penanganan yang diperlukan.

Tanah longsor merupakan perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah atau material campuran yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. Tanah longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi pada musim hujan dan dipicu oleh gejala-gejala fisis seperti pergerakan tanah, pengikisan tanah oleh air hujan, dan penyerapan air oleh tanah. Selain dari gejala fisis tersebut, curah hujan juga memiliki peranan besar terjadinya tanah longsor (Amin, 2022). Tanah longsor diawali oleh air yang meresap ke dalam tanah yang akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng (Umar, 2019).

Tanah longsor dapat terjadi karena adanya faktor pengontrol dan faktor pemicu. Faktor pengontrol merupakan faktor yang berpengaruh kepada kondisi material longsor itu sendiri seperti geologi, kemiringan lereng, litologi, sesar, dan kekar pada susunan bebatuan. Sedangkan faktor pemicu merupakan faktor penyebab Bergeraknya material longsor itu sendiri seperti curah hujan, erosi, gempa bumi, serta aktivitas manusia. Menurut Shahabi dan Hashim lereng terjal, curah hujan yang tinggi dan tanah yang tidak stabil merupakan faktor utama terjadinya tanah longsor pada wilayah Asia Tenggara yang memiliki iklim tropis, terutama wilayah pegunungan dan lembah.

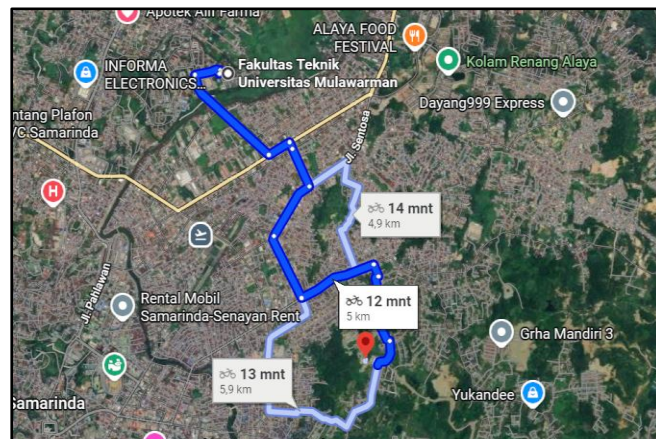
Tanah longsor terjadi jika dipenuhi 3 keadaan menurut Paimin, dkk (2009), yaitu: (1) lereng cukup curam, (2) terdapat bidang peluncur yang kedap air dibawah permukaan tanah, dan (3) terdapat cukup air dalam tanah di atas lapisan kedap (bidang luncur) sehingga tanah jenuh air. Berdasarkan teori Paimin, Sukresno, dan Pramono, bencana longsor di Jalan Kuburan Cina, Kelurahan Sidomulyo ini telah memenuhi semua syarat ketidakstabilan. Pertama, lereng memiliki kemiringan alami (*slope* 30°) yang sudah cukup curam. Masalahnya diperparah oleh lereng buatan yang terlalu mengikuti arah *dip* yang curam (*dip* 65°). Desain bukaan lereng yang sejajar dengan kemiringan lapisan batuan atau bidang luncur ini menciptakan bidang lemah yang siap untuk runtuh. Ketebalan tanah sedalam 2,3 meter di atas bidang luncur tersebut menjadi rentan. Titik pemicu utamanya datang dari faktor iklim (hujan yang sangat deras). Air meresap masuk, meningkatkan bobot massa tanah, akibatnya kekuatan geser tanah hilang, mengubah tanah yang semula stabil menjadi lumpur yang berat dan bergerak. Data *strike* 46° yang hampir sama persis dengan azimuth longsor 46° menguatkan fakta bahwa massa tanah bergerak persis di sepanjang bidang lemah yang curam tersebut. Dengan dimensi longsor yang luas (panjang 49,5 m dan lebar 95,5 m), jelas bahwa kombinasi antara geometri lereng yang buruk dan curah

hujan deras adalah pemicu terjadinya bencana tanah longsor di Jalan Kuburan Cina, Kelurahan Sidomulyo, Kecamatan Samarinda Ilir, Kota Samarinda.

Hal baru dari penelitian kami mengenai longsor di Jalan Kuburan Cina, dari penelitian ini terletak pada integrasi data yang kaya dan analisis yang menyeluruh. Pertama, kami memakai dinamika longsor dari *Google Earth* (kondisi sebelum kejadian) dengan data detail yang diambil menggunakan *drone* (kondisi sesudah longsor), memberikan gambaran lengkap tentang proses kegagalan. Kedua, data ini memungkinkan kami menghitung volume material longsor secara sangat akurat menggunakan perangkat lunak seperti Agisoft Metashape, memberikan data kuantitatif penting untuk perencanaan perbaikan. Terakhir, dengan menggabungkan semua informasi ini mulai dari teknis lereng, pemetaan zonasi, hingga estimasi volume material, kami menawarkan model analisis yang terpadu dan siap pakai, memastikan temuan penelitian ini tidak hanya menjelaskan masalah, tetapi juga memberikan solusi praktis yang dapat diterapkan kembali di wilayah rawan longsor lain.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi besarnya volume material longsor secara akurat dan komprehensif di ruas Jalan Kuburan Cina, Kelurahan Sidomulyo, dengan memanfaatkan integrasi teknologi fotogrametri berbasis UAV dan pengukuran lapangan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan secara objektif tingkat kerusakan dan pola pergerakan tanah, serta menyajikan gambaran temporal kondisi lereng dengan membandingkan data pra dan pasca-longsor. Hasil dari analisis ini diharapkan mampu memberikan informasi kuantitatif yang valid mengenai volume longsor sebagai dasar pertimbangan teknis dalam perencanaan perbaikan, penentuan desain penanganan lereng, dan evaluasi risiko yang diperlukan untuk mencegah kejadian serupa di masa mendatang.

Lokasi penelitian berada pada wilayah Jl. Kuburan Cina, Kelurahan Sidomulyo, Kec. Samarinda Ilir, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Lokasi ini berada pada lereng yang dipotong untuk badan jalan, dengan akses utama melalui jalan pemukiman yang melintasi punggungan kecil dan terletak ± 5 KM dari Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, memiliki waktu tempuh 12 menit dengan kendaraan roda 2. Peta Kesampaian Daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber Data: Google Maps)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan *mixed-method*, yang mengintegrasikan analisis kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengidentifikasi kondisi geologi, karakteristik material, serta mekanisme longsor berdasarkan observasi lapangan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menghitung volume longsor dan menganalisis perubahan topografi menggunakan data fotogrametri berbasis UAV dan analisis spasial.

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan dan pemetaan UAV. Survei lapangan meliputi pengukuran dimensi longsor, identifikasi litologi, pengukuran orientasi lapisan batuan (*strike* dan *dip*), serta dokumentasi visual kondisi lereng. Pemetaan UAV dilakukan untuk memperoleh citra udara resolusi tinggi pascakejadian.

Data sekunder meliputi peta geologi regional, citra *Google Earth* sebagai data pra-kejadian, data curah hujan dan literatur pendukung yang relevan dan kebencanaan longsor di wilayah penelitian.

B. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara bertahap. Analisis geologi dan geomorfologi dilakukan untuk menentukan faktor pengontrol longsor, seperti litologi, kemiringan lereng, dan orientasi lapisan. Analisis spasial dilakukan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menghasilkan peta kemiringan lereng dan peta pendukung lainnya.

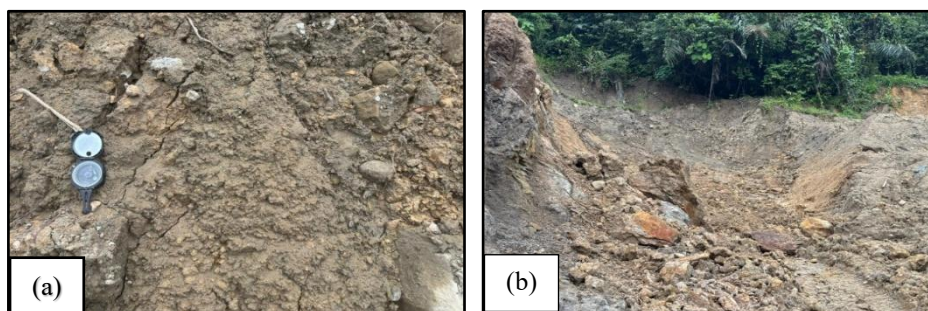
Data citra UAV diolah menggunakan *software Agisoft Metashape* untuk menghasilkan orthomosaic dan *Digital Elevation Model* (DEM) pascakejadian. Perubahan topografi dianalisis dengan metode *cut and fill* melalui perbandingan DEM pra-kejadian dan pascakejadian guna memperoleh estimasi volume material longsor. Sebagai pembanding, dilakukan perhitungan volume secara manual berdasarkan hasil pengukuran lapangan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian diperoleh dari integrasi data pengamatan lapangan, analisis spasial, dan pemodelan fotogrametri UAV. Hasil penelitian menggunakan parameter seperti, kondisi geologi dan tipe longsor, analisis kerawanan longsor menggunakan AHP-GIS, perubahan topografi pra dan pascakejadian, estimasi volume longsor serta implikasi geologi dan mitigasi.

A. Kondisi Geologi dan Karakteristik Material

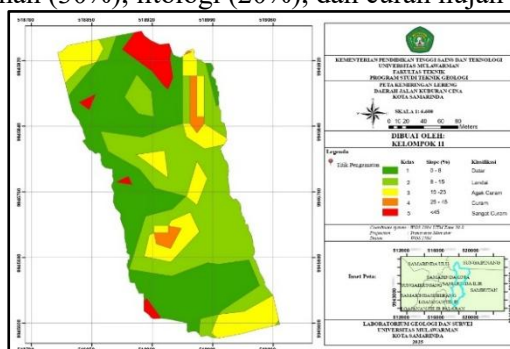
Hasil pengamatan lapangan menunjukkan daerah penelitian tersusun material lempung dengan Formasi Pulau Balang dan Formasi Balikpapan. Material tersebut bersifat plastis dan mudah mengalami penurunan kuat geser ketika berada pada kondisi jenuh air. Orientasi lapisan batuan memiliki *strike* N46°E dengan kemiringan (*dip*) sekitar 65°, yang relatif sejajar dengan arah lereng akibat pemotongan untuk badan jalan.



Gambar 2. Material tanah lempung di area penelitian (a) dan area longsor (b)

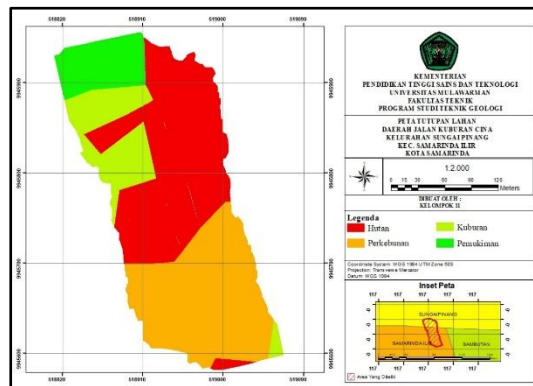
B. Analisis Kerawanan Longsor Menggunakan AHP-GIS

Analisis kerawanan longsor dilakukan dengan pendekatan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Parameter meliputi kemiringan lereng, tutupan lahan, litologi, dan curah hujan. Hasil pembobotan menunjukkan kemiringan lereng merupakan faktor dominan dengan bobot 35%, tutupan lahan (30%), litologi (20%), dan curah hujan (15%).



Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng

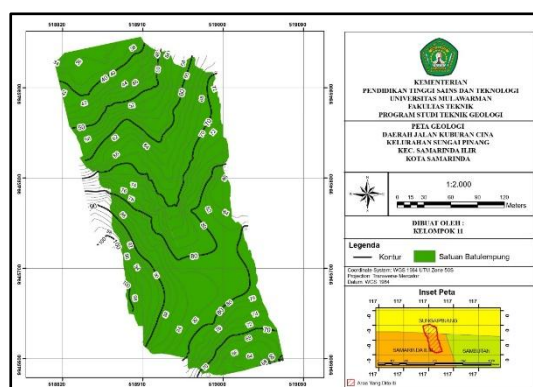
Kemiringan lereng merupakan faktor utama pengontrol kestabilan lereng dan diberi bobot 35% dalam analisis kerentanan. Kelas kemiringan dibagi menjadi datar ($0 < 8^\circ$, skor 1), landai ($8-15^\circ$, skor 2), miring ($16-25^\circ$, skor 3), agak curam ($26-45^\circ$, skor 4), dan curam ($>45^\circ$, skor 5). Lereng dengan kemiringan $>26^\circ$ dikategorikan rentan hingga sangat rentan terhadap longsor.



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan

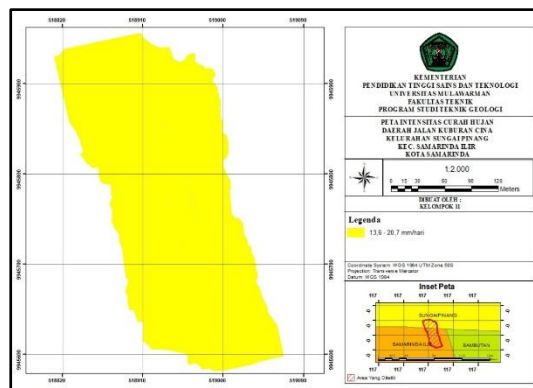
Peta tutupan lahan menunjukkan variasi penggunaan lahan yang berpengaruh langsung terhadap tingkat kerawanan longsor. Area berhutan memiliki vegetasi rapat dan sistem perakaran yang kuat sehingga meningkatkan kestabilan lereng dan diklasifikasikan dengan skor 1. Perkebunan dengan kerapatan vegetasi sedang memiliki tingkat kerawanan lebih tinggi (skor 2). Wilayah permukiman didominasi permukaan kedap air yang meningkatkan limpasan dan tekanan lateral, sehingga diberi skor 4, sedangkan lahan terbuka yang minim vegetasi dan mudah tererosi memiliki kerawanan tertinggi (skor 5).

Distribusi tutupan lahan di Jalan Kuburan Cina menunjukkan bahwa zona hutan di bagian barat laut berperan sebagai penyangga alami, sementara area permukiman, perkebunan, dan kuburan yang mendominasi bagian tengah hingga selatan lebih rentan akibat berkurangnya vegetasi dan meningkatnya aktivitas manusia.



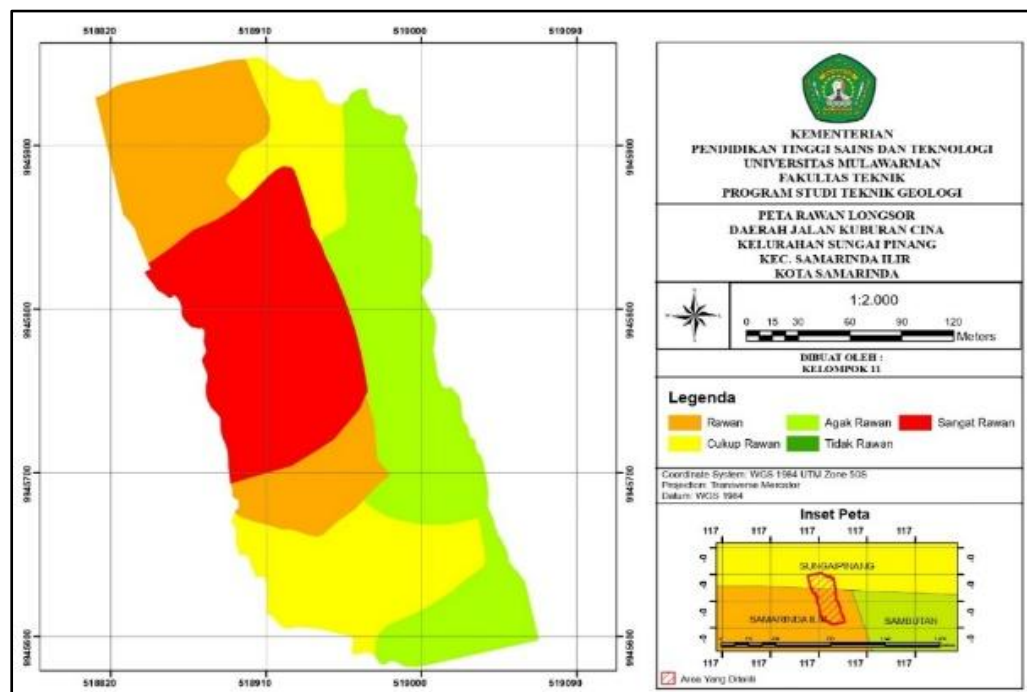
Gambar 5. Peta Litologi dan Jenis Tanah

Peta geologi menunjukkan bahwa daerah penelitian termasuk dalam Formasi Pulau Balang dan didominasi oleh satuan batulempung berdasarkan hasil observasi lapangan. Batulempung memiliki porositas tinggi, kemampuan menyimpan air yang besar, serta kohesi sekitar 20 kPa, namun mudah mengalami penurunan kuat geser saat jenuh akibat meningkatnya tekanan air pori. Berdasarkan karakteristik tersebut, litologi batulempung diklasifikasikan dengan skor 2, yang menunjukkan tingkat kerentanan longsor cukup tinggi.



Gambar 6. Peta Curah hujan

Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan tahunan di wilayah penelitian sebesar 2.129 mm/tahun, termasuk dalam kategori intensitas sedang (1.900–2.200 mm/tahun) dan diberi skor 2 pada penilaian AHP. Meskipun tidak ekstrem, curah hujan pada tingkat ini berperan dalam meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan kohesi tanah, terutama pada lereng dengan drainase buruk, batuan lapuk, dan tutupan lahan minim. Peta curah hujan menunjukkan sebaran intensitas yang relatif seragam, sehingga variasi potensi longsor lebih dipengaruhi oleh faktor lokal seperti kemiringan lereng, litologi, dan tutupan lahan dibandingkan oleh perbedaan curah hujan.

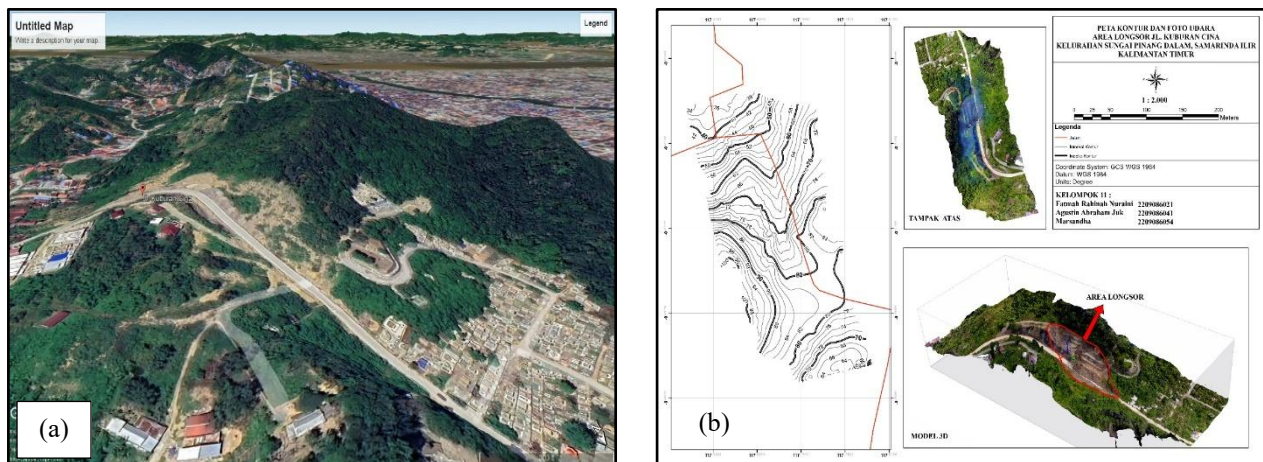


Gambar 7. Peta Rawan Longsor

Hasil overlay pembobotan menghasilkan peta kerawanan longsor yang menunjukkan bahwa zona dengan tingkat kerawanan tinggi hingga sangat tinggi terkonsentrasi pada area dengan lereng curam, tutupan lahan terbuka atau permukiman, serta litologi lempung lapukan. Zona tersebut berasosiasi langsung dengan lokasi kejadian longsor, sehingga menguatkan interpretasi bahwa kondisi fisik lereng merupakan faktor pengontrol utama terjadinya longsor di daerah penelitian.

C. Perubahan Topografi Pra dan Pascakejadian

Analisis perubahan topografi dilakukan dengan membandingkan data pra-kejadian yang diperoleh dari citra *Google Earth* dan data pascakejadian hasil pemetaan UAV. Data UAV menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) resolusi tinggi yang mampu menggambarkan geometri tubuh longsor secara detail.



Gambar 8. Citra google earth 2024 sebelum longsor (a), data pengolahan drone setelah longsor (b)

Hasil perbandingan menunjukkan adanya penurunan elevasi pada bagian atas lereng sebagai zona sumber longsor dan penambahan elevasi pada bagian bawah lereng akibat akumulasi material. Pola perubahan elevasi ini menunjukkan mekanisme pergerakan massa tanah yang

D. Estimasi Volume Longsor

Estimasi volume longsor dilakukan dengan dua metode, yaitu perhitungan manual dan pemodelan fotogrametri UAV.

Tabel 1. Parameter pengukuran perhitungan manual

Parameter	Nilai
Panjang longsor	49,5 m
Lebar longsor	95,5 m
Ketebalan rata-rata material	2,3 m
Sudut lereng	30°
Strike/dip lapisan	46°/65°

Pendekatan prisma trigonometri:

$$V=L \cdot W \cdot H=49,5 \times 95,5 \times 2,3=10.873 \text{ m}^3$$

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan menghasilkan estimasi volume sekitar $\pm 10.873 \text{ m}^3$, Ketebalan aktual kemungkinan tidak seragam, sehingga volume sebenarnya bisa sedikit lebih kecil atau lebih besar. Jika bentuk tubuh longsor dianggap menipis ke arah kaki lereng, maka volume efektif dapat berada di kisaran $5.400\text{--}10.900 \text{ m}^3$. Untuk mengetahui massa material, volume tersebut dikonversi menggunakan densitas tanah jenuh sebesar $1,9 \text{ t/m}^3$, dikarenakan kondisi lokasi basah setelah hujan dan material didominasi tanah lempungan. Dengan demikian diperoleh massa material sekitar 20.659 ton.

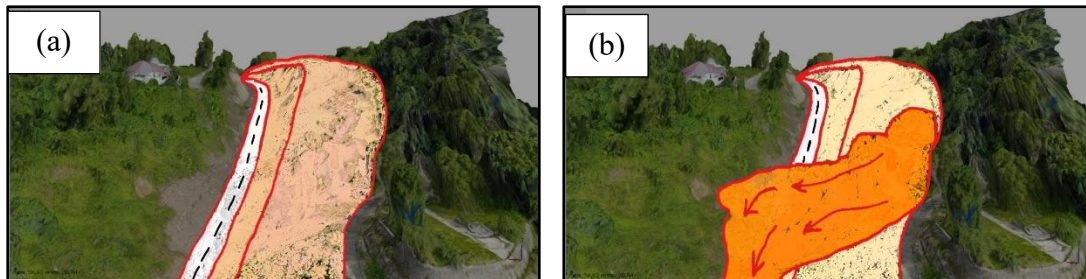
Fotogrametri drone menghasilkan model 3D permukaan. Analisis *cut-fill* menghasilkan:

Tabel 2. Perhitungan menggunakan *Software Agisoft Metashape*

Parameter	Nilai
Area terdampak	2.995,8 m ²
Volume hilang (<i>Cut</i>)	4.133,7 m ³
Volume terendap (<i>Fill</i>)	7.979,1 m ³
<i>Net loss</i>	-3.845,5 m ³

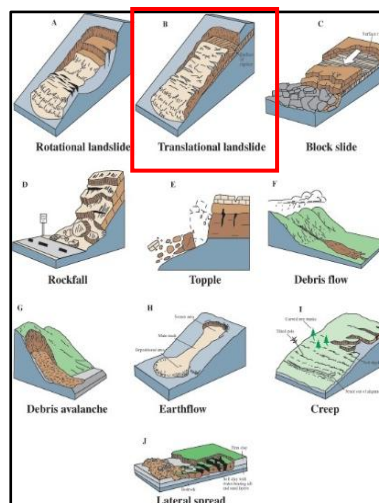
Hasil analisis fotogrametri UAV menggunakan metode *cut and fill* menghasilkan volume material terdeposisi sebesar $\pm 7.979,1 \text{ m}^3$. Perbedaan sekitar 27% antara kedua metode menunjukkan bahwa perhitungan manual cenderung melebihkan estimasi volume akibat penyederhanaan geometri longsoran. Oleh karena itu, hasil fotogrametri UAV dinilai lebih representatif karena mampu menangkap variasi morfologi dan ketebalan material secara spasial.

E. Mekanisme Longsor



Gambar 9 Model Ilustrasi Lereng Sebelum Longsor (a) dan Setelah Longsor (b)

Berdasarkan geometri lapisan, morfologi lereng, dan pola pergerakan material, longsor di lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai longsor translasi (*translational slide*). Pergerakan massa tanah terjadi sepanjang bidang gelincir planar yang sejajar dengan lapisan batuan berkemiringan curam, dipicu oleh peningkatan tekanan air pori akibat kejenuhan air yang menurunkan kuat geser tanah lempung.



Gambar 10 Tipe gerakan tanah

F. Implikasi Geologi dan Mitigasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kejadian longsor di Jalan Kuburan Cina dikontrol oleh kombinasi litologi lempung, orientasi lapisan curam, serta kejenuhan air akibat curah hujan. Integrasi pengukuran lapangan, analisis AHP–GIS, dan pemodelan fotogrametri UAV memberikan dasar kuantitatif yang kuat untuk mendukung perencanaan mitigasi, khususnya dalam penentuan desain drainase, perkuatan lereng, dan penyesuaian geometri lereng agar tidak searah dengan bidang gelincir.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa longsor di Jalan Kuburan Cina, Samarinda Ilir, dikontrol oleh kombinasi litologi lempung plastis hasil pelapukan Formasi Pulau Balang dan Formasi Balikpapan, orientasi lapisan batuan yang curam dan searah lereng, serta peningkatan kejenuhan air akibat curah hujan. Kondisi tersebut menghasilkan mekanisme kegagalan lereng bertipe longsor translasi yang bergerak sepanjang bidang gelincir planar.

Integrasi analisis spasial AHP–GIS menegaskan bahwa kemiringan lereng merupakan faktor paling dominan dalam menentukan kerawanan longsor, diikuti oleh perubahan tutupan lahan, karakteristik litologi, dan curah hujan. Estimasi volume longsor berbasis fotogrametri UAV memberikan hasil yang lebih representatif dibandingkan perhitungan manual, karena mampu menangkap variasi geometri dan ketebalan material secara detail. Dengan demikian, pendekatan terintegrasi antara pengukuran lapangan dan pemodelan UAV terbukti efektif sebagai dasar kuantitatif dalam perencanaan mitigasi dan desain stabilisasi lereng pada wilayah rawan longsor.

5. Daftar Pustaka

- Akhirianto, N. A., & Naryanto, S. H. (2016). Kajian Kapasitas Dan Persepsi Masyarakat Terhadap Bencana Tanah Longsor Di Desa Margamukti, Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung. *Jurnal Riset Kebencanaan Indonesia*, 2(2), 117–126.
- Allen, G. P., & Chambers, J. L. C. (1998). *Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta, Indonesia*. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Jakarta, Indonesia.
- Amin, M. S., dkk., (2022). Interpretasi Bidang Gelincir Longsoran Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner Di Sungai Pinang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*. 641–645.
- Arsyad, A., & Hamid, W. (2020). Landslide Susceptibility Mapping Along Road Corridors in West Sulawesi Using GIS–AHP Models. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1), 012080.
- Bathini, D. J., & Krishna, V. R. (2022). Performance of Soil Nailing for Slope Stabilization A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1070(1), 012034.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah 1* (Edisi Revisi). Gadjah Mada University Press.
- Kyriou, A., Kakavas, M., Nikolakopoulos, K. G., & Koukouras, I. (2020). Landslide mapping and volume estimation using UAV-based point clouds, GIS and geophysical techniques. (December).
- Muhammad Hafidz, R. O., Trides, T., & Juvensius, A. (2025). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor dengan Dinding Penahan di Palaran, Samarinda. *Globe Publ Ilmu Tek Teknol Kebumian, Ilmu Perkapalan*, 3(2), 177–186.
- Okoli, J., Nahas, F., Kalantar, B., & Shafri, H. Z. M. (2023). High-Resolution LiDAR-Derived DEM for Landslide Susceptibility Assessment Using AHP and Fuzzy Logic. *Geosciences*, 13(2), 34.
- Paimin, Sukresno, & Pramono, I. B. (2009). *Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor*. Tropenbos International Indonesia Programme.
- Rose, R., & Hartono, P. (1978). Geological evolution of the Tertiary Kutei–Melawi Basin, Kalimantan, Indonesia. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, 7th Annual Convention, 225–251.
- Satyana, A. H., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1999). Tectonic Controls on the Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutei, and Tarakan Basins. *Journal of Asian Earth Science*, 17, 111–121.
- Shahabi, H., & Hashim, M. (2015). Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and remote sensing data in tropical environment. *Scientific Reports*, 5, 9899.
- Supriyatna dkk. (1995). *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Tee Xiong, Indrawan, I. G. B., & Putra, D. P. E. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process, Statistical Index, Index of Entropy and Logistic Regression Approaches in the Tinalah Watershed, Yogyakarta. *J Geomatics*, 43(2), 87–98.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Varnes, C., America, N., Varnes, F., Symposium, I., Delhi, N., Society, C. G., et al. (1996). *Landslide Types*. (Bell 1992).
- Umar, Hamzah., dkk. (2019). Geologi Dan Analisis Bahaya Tanah Longsor Dengan Metode Analytical Hierarchy Process Di Desa Tanah Datar Kecamatan Muara Badak Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Geologi: Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. 2(1), 36–42.

Xu, Y., Chen, Y., & Zhang, J. (2021). Numerical Study on Retaining Wall Reinforcement for Urban Slope Stability under Rainfall Conditions. *Engineering Geology*, 284, 106037.

Yamagishi, H. (2020). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. (November).