



STUDI DAERAH RAWAN LONGSOR PADA KAWASAN PEMUKIMAN KAMPUNG BUGIS KOTA TARAKAN DENGAN PENERAPAN METODE FOTOGRAMETRI

Edy Utomo^{*1}, Iif Ahmad Syarif², Alfika Henny Barocah³, Reni⁴, Muhammad Saipul Sadam⁵

¹Laboratorium Pemetaan dan Geografis Teknik Sipil, FT UBT, Tarakan

^{2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, FT UBT, Tarakan

e-mail: *edyutmo99@gmail.com, iifahmads@gmail.com, alfika.hb@gmail.com,
reni.one1.geniuz@gmail.com, Muhammadsadamaje@gmail.com

ABSTRACT: Landslides are events due to changes in land use in the steep slope classification. The slope of the land can be identified by extracting elevation data from the earth's surface. One way of measurement is to apply the photogrammetric method. In this research, a study was conducted on landslide-prone areas in the residential area of the Kampung Bugis Tarakan City, with a base map that was the results of processing UAV aerial photographs. The results of the study state that the photogrammetric method of aerial photographs of UAVs is able to provide an accuracy rate of 98%, and is able to provide an overview of landslide prone maps with a precision of 90%. Applying this method, the researchers found that the study area is at high risk of landslides, with a potential vulnerability level of 43,61% high and 36,33% very high, which were spread over hillside areas in an area of 72,70 hectare.

Keywords: Elevation, Photogrammetric, Landslide, Tarakan, UAV.

ABSTRAK: Tanah longsor merupakan kejadian akibat perubahan guna lahan pada klasifikasi kelerengan yang curam. Kelerengan lahan dapat diidentifikasi dengan ekstraksi data elevasi dari permukaan bumi. Salah satu cara pengukurannya adalah dengan menerapkan metode fotogrametri. Pada penelitian ini dilakukan studi daerah rawan longsor di wilayah pemukiman kampung bugis Kota Tarakan dengan peta dasar merupakan hasil dari pengolahan foto udara UAV. Hasil studi menyatakan bahwa metode fotogrametri dari foto udara UAV mampu memberikan tingkat akurasi 98%, dan mampu memberikan gambaran peta rawan longsor dengan ketelitian 90%. Dari penerapan metode ini, dinyatakan bahwa lokasi penelitian merupakan daerah rawan longsor dengan potensi tingkat kerawanan 43,61% tinggi dan 36,33% sangat tinggi, yang tersebar pada daerah lereng perbukitan pada luas lokasi penelitian sebesar 72,70 hektar.

Kata kunci: Elevasi, Fotogrametri, Longsor, Tarakan, UAV.

1. PENDAHULUAN

Kota Tarakan merupakan salah satu wilayah Provinsi Kalimantan Utara yang merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata ± 18 meter di atas permukaan laut. Wilayah Kota Tarakan ini terbagi menjadi 4 Kecamatan, salah satunya adalah Kecamatan Tarakan Tengah yang memiliki luas 55,54 km² (Badan Pusat Statistik Kota Tarakan, 2022). Wilayah ini merupakan daerah dengan jumlah penduduk yang terbanyak ke-2, tercatat pada tahun 2021 jumlah penduduk di wilayah ini sebesar 70.000 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Tarakan, 2022). Hal ini menyebabkan kebutuhan akan wilayah pemukiman juga semakin meningkat, sehingga beberapa wilayah perbukitan banyak dipergunakan sebagai pemukiman, walaupun daerah tersebut memiliki potensi terdampak bencana tanah longsor. Tanah

longsor memberi dampak kerugian yang besar, seperti lenyapnya harta benda, kerusakan infrastruktur, hingga korban jiwa yang berjatuh (Rahmadany dkk., 2022). Berdasarkan media online, didapatkan informasi bahwa pada tahun 2020 telah terjadi bencana tanah longsor di 4 titik wilayah Kota Tarakan, salah satunya adalah wilayah Kecamatan Tarakan Barat di Kelurahan Kampung 1. Akibat peristiwa tersebut tercatat 11 orang tewas, dengan lokasi tanah longsor berada pada kontur tanah yang labil dan tidak memiliki bebatuan (Kompas.com, 2023). Namun belum tersedia informasi yang lengkap terkait tingkat rawan longsor pada daerah tersebut. Sehingga, perlu untuk dilakukan studi terkait kondisi kelongsoran lahan di wilayah tersebut.

Salah satu parameter untuk identifikasi daerah longsor adalah klasifikasi kelerengan. Kelerengan suatu kawasan merupakan suatu sudut yang terbentuk oleh perbedaan tinggi permukaan tanah (*relief*), yaitu antara bidang datar tanah dengan bidang horizontal yang pada umumnya dihitung dalam satuan persen (%) (Melo dkk., 2018), untuk mengetahui persentase kelerengan ini dibutuhkan data elevasi permukaan tanah yang merupakan ekstraksi dari data DEM (*Digital Elevation Model*). DEM merupakan suatu model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi dalam 3 dimensi. Data elevasi ini banyak digunakan pada aplikasi pemetaan luas genangan banjir, perencanaan wilayah, sampai pada identifikasi daerah rawan longsor (Fariz & Rokhayati, 2017). Prinsipnya DEM terbagi menjadi 2 bentuk, yaitu DSM (*Digital Surface Model*) dengan muatan informasi ketinggian permukaan semua fitur permukaan bumi, dan DTM (*Digital Terrain Model*) yang hanya memuat informasi ketinggian permukaan tanah, tanpa adanya pengaruh fitur lainnya (Jensen, 2007). Setidaknya terdapat 4 cara untuk mendapatkan data DEM, yaitu dengan pengukuran langsung, fotogrametri, IF-SAR, dan LIDAR (Bossler dkk., 2002).

Pada penelitian ini data DEM yang direpresentasikan dalam bentuk data DTM akan diambil dengan menerapkan metode fotogrametri, agar dapat mencakup wilayah yang cukup luas. Selain itu, resolusi yang dihasilkan akan jauh lebih baik dibandingkan melakukan ekstraksi dari titik koordinat. Resolusi DTM menjadi salah satu kontributor paling signifikan untuk analisis kerentanan tanah longsor dan efektif menghasilkan presisi yang tinggi (Chen dkk., 2020), selain itu resolusi spasial yang tinggi dapat memberikan refleksi kondisi permukaan yang nyata (Rahmadany dkk., 2022). Proses fotogrametri memerlukan peralatan khusus untuk menjalankannya, yaitu UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk memetakan suatu wilayah berbasis GIS (Lumasuge & Helmy Israel, 2022). Penerapan teknologi ini merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan data yang lebih detail, *real time*, cepat dan lebih murah (Putra dkk., 2016). Pada proses pengambilan foto udara UAV memiliki kelebihan, yaitu mampu menghasilkan data foto udara dengan resolusi tinggi (Sari & Kushardono, 2014).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Sistem UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)

Wahana UAV yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *quadcopter*, merujuk pada penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya banyak menggunakan tipe UAV ini, antara lain DJI Phantom 3 Pro (Putra dkk., 2016), DJI Phantom 4 Pro (Anurogo dkk., 2017), dan DJI Mavic Pro (Lumasuge & Helmy Israel, 2022). Pada penelitian ini Wahana yang digunakan adalah DJI Mavic Air 2 yang merupakan generasi terbaru, dengan spesifikasi kamera ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kamera Drone DJI Mavic Air 2

Komponen	Spesifikasi
Sensor	½.0" CMOS, Piksel efektif: 48 MP
Lensa	FOV: 84°, 35 mm, setara dengan format 24 mm, Video: 100-6400
Rentang ISO	Foto: 12MP: 100-3200 (Auto); 100-6400 (Manual) Foto: 48MP: 100-1600 (Auto); 100-3200 (Manual)

Komponen	Spesifikasi
Kecepatan Rana	8 – 1/8000 detik
Ukuran gambar maksimum	48MP: 8000 x 6000; 12MP: 4000 x 3000

Sumber: Buku panduan drone mavic air 2, 2021.

2.2. Perencanaan Jalur Terbang

Pada penelitian ini UAV diterbangkan secara otomatis dengan bantuan perangkat lunak *Litchi*. Ketinggian terbang UAV diatur pada ketinggian 120 meter di atas titik awal mula UAV melakukan *take off*. Hal ini dilakukan untuk menjaga keselamatan dan keamanan penerbangan di ruang udara yang dilayani Indonesia dari kemungkinan bahaya dan konsekuensi yang ditimbulkan karena pengoperasian pesawat udara tanpa awak, dengan batas ketinggian pengoperasian tanpa izin adalah maksimal 120 meter dan berada pada *Uncontrolled Airspace* (jenis ruang udara yang diberikan pelayanan lalu lintas penerbangan berupa pelayanan informasi penerbangan, kesiagaan, dan pelayanan sarana lalu lintas penerbangan (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 37 Tahun, 2020). Penentuan *overlap* atau tumpang tindih foto digunakan 75% dan 70% yang secara otomatis tersedia pada perangkat lunak Pix4D (Lumasuge & Helmy Israel, 2022). Namun karena wahana UAV dalam penelitian ini tidak dapat menggunakan perangkat lunak tersebut, dan hanya dapat menggunakan perangkat lunak *Litchi*, maka penentuan *overlap* diperhitungkan untuk mendapatkan nilai konversi persentase *overlap* ke jarak dan waktu pengambilan foto. Adapun persamaan matematis yang digunakan untuk konversi *overlap* depan ke waktu pengambilan foto ditunjukkan pada persamaan (1) (Wahyono & Suyudi, 2017):

$$Capture\ time = \frac{B}{V_s} \quad (1)$$

dimana:

- B = Lebar *overlap* yang ditentukan dengan $(100 - PE)\% \times GB$; (Meter)
- GB = Lebar foto pada skala sesungguhnya rasio dari ketinggian terbang drone; (Meter)
- PE = Persentase *overlap* depan; (75%)
- V_s = Kecepatan terbang drone saat operasi pengambilan foto udara; (20 km/h atau 5,56 m/s)

Sedangkan untuk konversi *overlap* samping ke jarak putaran drone pada jalur terbang pertama ke jalur terbang selanjutnya ditentukan dengan persamaan (2)

$$W = (100-PS)\% \times GH \quad (2)$$

dimana:

- W = Jarak antara jalur terbang drone; (Meter)
- GH = Panjang foto pada skala sesungguhnya, rasio dari ketinggian terbang drone; (Meter)
- PS = Persentase *overlap* samping; (70%)

Berdasarkan iterasi persamaan tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan rancangan jalur penerbangan otomatis dengan input parameter sebagai berikut:

1. Ketinggian UAV = 120 Meter
2. Waktu pengambilan 1 foto udara = 4,30 detik/foto
3. Jarak antara jalur terbang = 50,96 Meter \approx 50,00 Meter
4. Luas pengambilan 1 foto udara = 1,57 Ha

2.3. Pengolahan Data Foto Udara

Pengolahan foto udara mengacu pada langkah dan proses yang diberikan dalam penelitian sebelumnya, tahapan pengolahan foto udara dengan menggunakan *Agisoft Metashape Professional* adalah sebagai berikut (Anurogo dkk., 2017) , dan (Utomo dkk., 2022) :

1. *Align photos*, pada tahap ini dilakukan untuk menyatukan susunan posisi pengambilan foto udara, tingkat akurasi yang digunakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan, jika data foto udara memiliki tumpang tindih yang baik, maka dapat menggunakan level “low”, namun apabila untuk menghasilkan gambar yang aktual maka dapat menggunakan level “High”, dalam penelitian ini menggunakan level “High”, dengan *Pair preselection* pada posisi “Reference” karena foto udara yang dihasilkan dari UAV telah memiliki koordinat referensi.
2. Retifikasi, pada proses ini retifikasi dilakukan dengan acuan penggunaan GCP (*Ground Control Point*), Koordinat GCP yang digunakan diambil secara langsung dengan menggunakan *Hand GPS*. Sistem koordinat yang digunakan adalah WGS 1984 UTM Zone 50N.
3. *Build Dense Clouds* (Tahap 1), pada tahap ini foto udara diubah menjadi kumpulan titik. Titik inilah yang kemudian menjadi nilai koordinat detail dari setiap foto udara.
4. Inventarisir data elevasi dari hasil proses *Dense Clouds*, tahap ini posisi GCP didata nilai elevasinya, kemudian nilai elevasi digunakan menjadi nilai acuan pada proses retifikasi kedua.
5. Retifikasi kedua dilakukan pada setiap GCP, dengan nilai koordinat X dan Y didapatkan dari hasil pembacaan GPS, sedangkan nilai elevasi merupakan hasil dari pengolahan *Dense Clouds* pertama, selanjutnya seluruh titik GCP di *marking* sebagai acuan *Georeferencing* ulang.
6. Proses selanjutnya sampai dengan pembentukan *Orthophoto* dan *DTM* dapat mengikuti langkah yang diberikan oleh (Utomo dkk., 2022).

2.4. Pengujian Akurasi

Penilaian akurasi dilakukan dengan menerapkan pengujian akurasi. Pengujian akurasi perlu untuk dilakukan agar data yang didapatkan dari foto udara dapat dikatakan sesuai dengan kondisi di lapangan. Secara teknis perhitungan akurasi dilakukan dengan membandingkan data hasil klasifikasi dengan kondisi di lapangan (Putra dkk., 2016). Nilai akurasi yang memenuhi syarat adalah > 90%, apabila nilai tersebut tidak terpenuhi maka perlu dilakukan pengambilan foto udara kembali, dengan mempertimbangkan perhitungan rencana terbang UAV. Persamaan yang digunakan dalam uji akurasi adalah persamaan Omisi dan Komisi. Omisi merupakan kondisi hasil interpretasi lebih pendek/sempit dari lapangan, sedangkan Komisi adalah kondisi dimana hasil interpretasi lebih panjang/luas dari lapangan (Wulan dkk., 2016). Adapun persamaan tersebut ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\text{Akurasi} = \left[1 - \left[\frac{\Delta}{[\text{Lapangan}]} \right] \right] \times 100\% \quad (3)$$

dimana, Δ = Interpretasi – lapangan

Pengukuran akurasi akan dilakukan pada beberapa objek di sekitar lokasi penelitian, dapat berupa lebar jalan, panjang jembatan, maupun objek lainnya yang dapat terukur baik secara manual langsung di lapangan maupun berdasarkan interpretasi dari *orthophoto* yang dihasilkan dari foto udara.

2.5. Penilaian Kelongsoran Tanah

Parameter penilaian kelongsoran tanah mengacu pada pembobotan yang dikeluarkan oleh Puslittanak 2004, beberapa parameter tersebut adalah kelerengan lahan, curah hujan, penutupan lahan, dan formasi geologi (batuan induk) (Yassar dkk., 2020). Formula yang digunakan dalam penilaian adalah menggunakan persamaan (4)

$$\text{Skor Total} = 0,3\text{FCH} + 0,2\text{FBD} + 0,2\text{FKL} + 0,2\text{FPL} + 0,1\text{FJT} \quad (4)$$

dimana:

- FCH = Faktor Curah Hujan
- FBD = Faktor Jenis Batuan
- FKL = Faktor Kemiringan Lereng
- FPL = Faktor Penutupan Lahan
- FJT = Faktor Jenis Tanah
- 0,3; 0,2; 0,1 = Bobot Nilai

Berikut ini disajikan klasifikasi dari setiap faktor yang memberikan pengaruh pada penilaian kelongsoran tanah menurut Pustittanak, 2004 (Yassar dkk., 2020):

Tabel 2. Parameter, bobot, dan skor pada penilaian kelongsoran tanah

Parameter	Bobot	Skor
Klasifikasi Faktor Curah Hujan		
Sangat Basah (>3000 mm/tahun)		5
Basah (2501-2300 mm/tahun)		4
Sedang (2001-2500 mm/tahun)	30%	3
Kering (1501-2000 mm/tahun)		2
Sangat Kering (<1500 mm/tahun)		1
Klasifikasi Faktor Jenis Batuan		
Batuan Vulkanik	20%	3
Batuan Sedimen		2
Batuan Aluvial		1
Klasifikasi Faktor Kemiringan Lahan		
> 45 %		5
30 – 45 %	20%	4
15 - 30 %		3
8 – 15 %		2
< 8 %		1
Klasifikasi Penutupan Lahan		
Tegalan, Sawah		5
Semak Belukar	20%	4
Hutan dan Perkebunan		3
Kota/Permukiman		2
Tambak, Waduk, Perairan		1
Klasifikasi Jenis Tanah		
Regosol		5
Andosol, Podsolik	10%	4
Latosol Coklat		3
Asosiasi Latosol Coklat Kekuningan		2
Aluvial		1

Sumber: (Yassar dkk., 2020)

Faktor curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan maksimum rerata selama 5 tahun terakhir (2018 s/d 2022), yang bersumber dari laman <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps> (University of California, 2023). Hujan merupakan faktor penting dalam kejadian bencana longsor, hujan merupakan peristiwa jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi. Rambatan air hujan dapat menyebabkan longsor pada tanah, hal ini bergantung pada jenis tanah. Tingkat bahaya longsor akan menjadi lebih besar apabila jenis tanah berada pada formasi kemiringan lereng yang tinggi. Tutupan lahan dari struktur vegetasi dapat menurunkan bahaya erosi daripada lahan dengan dominasi vegetasi pohon yang kurang disertai tumbuhan lain di bawahnya (Nuryanti dkk., 2018).

Secara tinjauan geologi, Pulau Tarakan terdiri dari 2 satuan wilayah besar, yaitu satuan perbukitan antiklin dan satuan dataran (dataran pantai, banjir, dan sungai) dengan klasifikasi tanah aluvial organik dan batuan induk berasal dari organisme binatang yang terurai, dengan kandungan utama kapur, pasir, lanau, dan lempeng (Perkim.id Perumahan dan Kawasan Permukiman, 2022). Menurut (Kristy dkk.,

2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa 52,35% jenis tanah di Pulau Tarakan masuk dalam klasifikasi tanah aluvial yang tersebar di daerah perbukitan menuju ke pesisir pada setiap kecamatan. Sedangkan 47,65% lainnya merupakan tanah podsolik yang berada pada bagian perbukitan. Jenis tanah aluvial merupakan tanah yang dibentuk dari proses endapan terserap ke dalam tanah, umumnya terbentuk dari genangan air yang terkumpul dari satu titik dan perlahan mengering, ciri yang mudah untuk diketahui dari jenis tanah ini adalah memiliki tingkat pH tanah yang rendah di bawah 6 (Dachi, 2022). Sedangkan tanah podsolik, adalah jenis tanah yang terbentuk dari suhu rendah dan curah hujan yang tinggi, dengan karakteristik warna kemerahan atau kekuningan. Ciri umum jenis tanah ini adalah bertekstur pasir dan berlempung, mudah basah jika terkena air, nilai pH relatif rendah, berada pada zona iklim basah dengan curah hujan tinggi antara 2500 – 3000 mm/tahun (Geolognesia, 2020).

Lima parameter tersebut akan digabungkan menjadi satu dengan teknik *overlay*, sehingga akan menghasilkan gambaran peta baru, yaitu peta rawan tanah longsor dengan 4 klasifikasi potensi kelongsoran (rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi). Penentuan nilai interval untuk masing-masing kelas diberikan dengan persamaan 5 berikut ini (Rahmadany dkk., 2022).

$$Range = \frac{\text{Skor tertinggi} - \text{Skor terendah}}{\text{Jumlah Kelas Klasifikasi}} \quad (5)$$

Dimana: *Range* adalah nilai interval kelas longsor; Skor adalah nilai parameter longsor.

Hasil gambaran peta rawan tanah longsor yang sudah terbentuk dilakukan uji validitas untuk mengetahui akurasi yang diperoleh dari peta tersebut. Teknik uji validitas dilakukan dengan metode *accrassion assessment* yang bertujuan untuk menentukan akurasi dari klasifikasi titik kejadian longsor pada peta dengan kondisi di lapangan (Selaby dkk., 2021). Adapun uji validitas dilakukan dengan persamaan 6 berikut ini.

$$Accrassion\ assessment = \frac{\sum \text{Titik sesuai dengan } groundcheck}{\sum \text{Semua titik uji}} \times 100\% \quad (6)$$

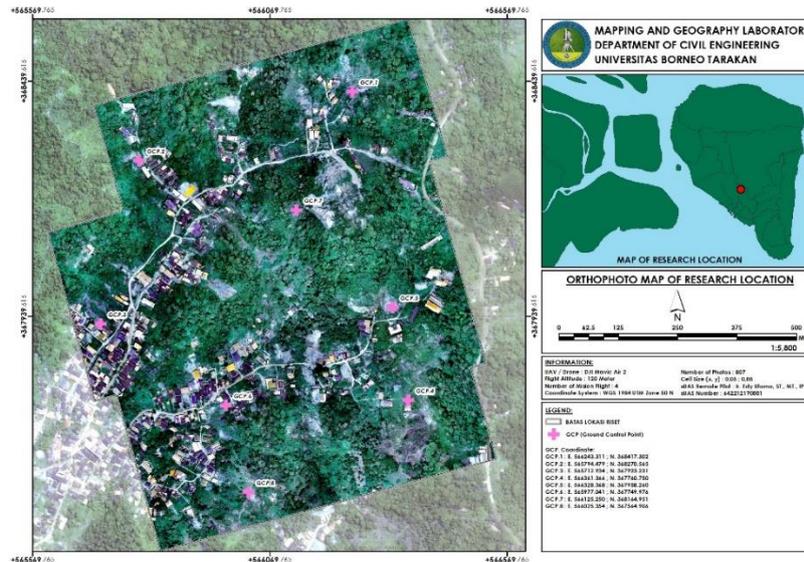
Menurut *National Park Service Vegetation Inventory*, nilai *accrassion assessment* yang menyatakan bahwa peta yang dihasilkan telah akurat terhadap klasifikasi longsor adalah $\geq 80\%$ (Rahmadany dkk., 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pembentukan *Orthophoto* dari UAV

Berdasarkan perencanaan jalur terbang yang dibuat mendapatkan hasil bahwa pengambilan data perlu untuk dilakukan selama 3 (tiga) kali penerbangan. Namun, dikarenakan lokasi penelitian berada pada zona keselamatan penerbangan maka terjadi beberapa kali kehilangan kendali, oleh sebab itu konsumsi baterai pada pesawat UAV mengalami peningkatan, sehingga diperlukan 4 (empat) kali penerbangan. Jumlah data foto udara yang didapatkan selama pengambilan data sebanyak 819 foto udara.

Proses penyatuan foto udara yang dilakukan pada perangkat lunak *Agisoft Metashape Profesional* secara otomatis hanya mampu melakukan ekstraksi pada 807 foto udara. Jumlah pemecahan foto udara menjadi *Tie Points* adalah sebanyak 1.663.199 titik pada tingkat kualitas yang digunakan adalah *high*. Jumlah *Dense Cloud* pada tingkat kualitas medium yang nantinya digunakan untuk ekstraksi data DTM adalah sebanyak 80.383.667 titik. Hasil pengolahan ini mendapatkan 2 (dua) data utama, yaitu DTM dengan ukuran 14,3 cm/piksel, dan *Orthomosaic* dengan ukuran 5 cm/piksel. Pada Gambar 1 ditunjukkan hasil *orthophoto* yang digunakan sebagai *base map* dalam penentuan parameter klasifikasi penggunaan lahan di lokasi penelitian.



Gambar 1. Hasil orthophoto dari ekstraksi foto udara

Gambar 1 merupakan hasil *orthophoto* dari ekstraksi foto udara yang digunakan sebagai *base map* dalam penelitian ini. Karena lokasi yang begitu luas, dan keterbatasan pada waktu penelitian maka lokasi penelitian dibatasi pada bagian wilayah yang dekat dengan pemukiman masyarakat. Luas daerah yang menjadi objek analisis lanjutan ditetapkan dengan batas AOI dengan luas wilayah penelitian sebesar 72,69 Ha. Tingkat akurasi dari *orthophoto* divalidasi dengan uji akurasi pada titik-titik koordinat (x, y) pada setiap GCP yang terpasang. Hasil uji akurasi dari *orthophoto* ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Uji akurasi titik koordinat GCP

Koordinat hasil ekstraksi <i>Orthophoto</i>			Koordinat lapangan Hand GPS		Akurasi dengan pers. 3 (%)	
No	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>
GCP.1	566243	368417	566243	368416	100,00	100,00
GCP.2	565794	368271	565791	368271	100,00	100,00
GCP.3	565713	367923	565709	367925	100,00	100,00
GCP.4	566361	367761	566328	367955	99,99	100,05
GCP.5	566328	367958	566356	367761	100,00	99,95
GCP.6	565977	367750	565973	367747	100,00	100,00
GCP.7	566125	368165	566123	368167	100,00	100,00
GCP.8	566025	367565	566022	367568	100,00	100,00
Rerata					100,00	100,00

Sumber: Uji akurasi koordinat GCP, Peneliti, 2023

Berdasarkan uji akurasi dengan menggunakan persamaan 3 yang dilakukan pada nilai koordinat GCP menunjukkan bahwa *orthophoto* yang dihasilkan dari ekstraksi data foto udara memiliki akurasi 100. %..Selanjutnya uji akurasi juga dilakukan berdasarkan pengukuran geometrik pada beberapa objek bangunan sipil, yaitu jalan pada lokasi penelitian. Hal ini dilakukan untuk memperkuat akurasi yang diberikan dari pembacaan koordinat GCP.

Sebelum uji akurasi objek geometrik ini dilakukan, maka perlu untuk dilakukan terlebih dahulu pengukuran pada setiap objek berdasarkan interpretasi pada *orthophoto* yang digunakan sebagai *base map*. Setelah itu, dilakukan pengukuran langsung di lokasi penelitian untuk mendapatkan nilai perbandingan, sehingga dapat diketahui tingkat akurasi yang diberikan oleh pemodelan peta *orthophoto*. Pada Gambar 2 ditunjukkan proses pengukuran pada setiap objek dan hasil analisis uji akurasi ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 2. Proses pengukuran objek untuk uji akurasi geometrik

Tabel 4. Hasil uji akurasi objek geometrik

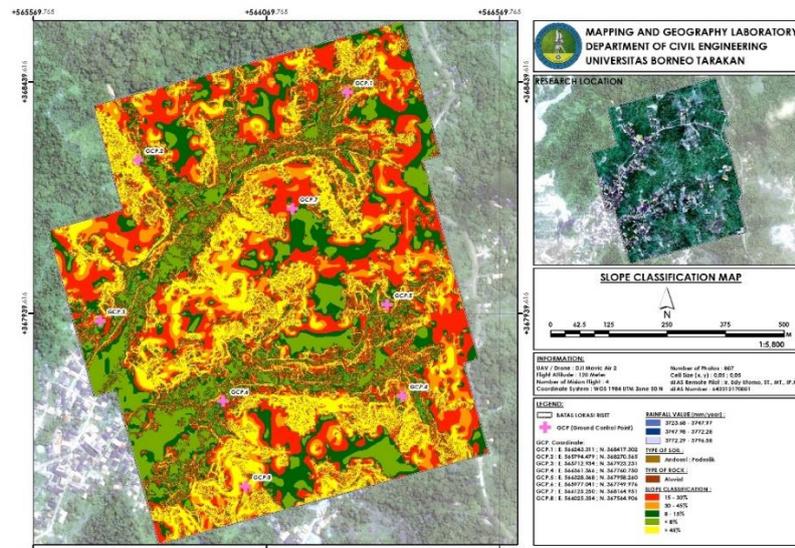
No	Keterangan Objek	Pengukuran interpretasi peta (m)	Pengukuran langsung di lokasi (m)	Akurasi (%)
1.	Panjang jembatan masjid RT.10	2,77	2,68	96,64
2.	Panjang jembatan sungai utama RT.10	6,35	5,10	75,49
3.	Lebar jalan semenisasi RT.10	4,00	4,00	100,00
4.	Lebar jalan semenisasi RT.10	3,08	3,07	99,67
5.	Lebar sisi jembatan bentuk miring RT.10	3,65	3,53	96,60
6.	Lebar jalan semenisasi RT.10 (pertemuan jalan tanah)	3,09	3,10	100,32
7.	Lebar jalan semenisasi RT.10 (menuju TPA)	6,03	5,91	97,97
8.	Lebar jalan semenisasi RT.10 (menuju rumah ketua RT)	5,75	5,54	96,21
9.	Panjang plat duicker gang RT.20	3,08	3,07	99,67
10.	Panjang plat duicker rumah warga RT.20	5,79	5,80	100,17
11.	Lebar jalan semenisasi Gang RT.20	3,37	3,17	93,69
12.	Panjang sisi miring jembatan sungai RT.20	3,05	3,48	112,36
13.	Lebar gang RT.20	2,70	2,74	101,46
14.	Panjang plat duicker rumah warga RT.20	4,31	4,23	98,11
15.	Panjang plat duicker rumah warga RT.20	2,38	2,39	100,42
16.	Panjang sisi miring jalan semenisasi RT.20	3,11	3,12	100,32
17.	Lebar gang RT.20	3,09	3,13	100,28
18.	Lebar gang RT.20	3,06	3,06	100,00
19.	Panjang turap batu fondasi pemakaman RT.20	2,10	2,10	100,00
20.	Lebar gang RT.20	1,69	1,71	101,17
Rerata				98,58

Sumber: Uji akurasi objek geometrik, Peneliti, 2023

Berdasarkan uji akurasi objek geometrik jalan dan jembatan, didapatkan tingkat akurasi pembentukan peta *orthophoto* dari hasil ekstraksi data foto udara rerata adalah sebesar 98,58%. Nilai yang dihasilkan >90%, sehingga dapat dinyatakan bahwa ketelitian yang dihasilkan masuk dalam kategori akurat

3.2. Hasil Pembentukan DTM dan Kelerengan Lahan

Ekstraksi data elevasi dari foto udara direpresentasikan dalam bentuk data DEM yang selanjutnya diekstraksi kembali menjadi data DTM. Ekstraksi DTM dilakukan dengan memberikan klusterisasi pada setiap objek yang terdeteksi dalam foto udara sebagai titik *dense cloud*. Klusterisasi dilakukan secara otomatis pada perangkat lunak *Agisoft Metashape Profesional*, dengan memisahkan bagian permukaan tanah (*ground*) dengan objek lainnya yang berada di atas permukaan tanah. DTM ini selanjutnya digunakan untuk pembentukan klasifikasi kelerengan dari lokasi penelitian. Adapun hasil pembentukan klasifikasi kelerengan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Hasil peta klasifikasi kelergenan lahan

Adapun hasil klasifikasi kelergenan lahan pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil klasifikasi kelergenan lahan

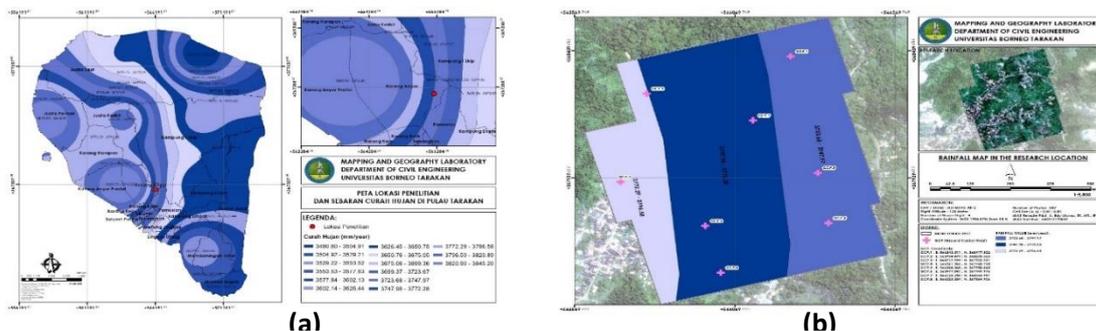
Klasifikasi kelergenan lahan	Luas (Ha)	(%)
< 8%	11,41	15,71
8% - 15%	14,45	19,89
15% - 30%	20,88	28,74
30% - 45%	11,55	15,90
> 45%	14,35	19,76

Sumber: Klasifikasi kelergenan lahan, Peneliti, 2023.

Berdasarkan pemodelan klasifikasi kelergenan lahan didapatkan informasi bahwa lokasi penelitian merupakan daerah perbukitan yang memiliki kelergenan 15% sampai dengan > 45%. Daerah-daerah dengan tingkat kelergenan 30% sampai dengan >45% cenderung curam sampai sangat curam. Daerah-daerah ini yang memiliki potensi terhadap fenomena longsor tanah, terlebih lagi apabila tutupan vegetasi pada daerah tersebut telah hilang.

3.3. Hasil Pembentukan Peta Curah Hujan, Jenis Batuan, dan Jenis Tanah

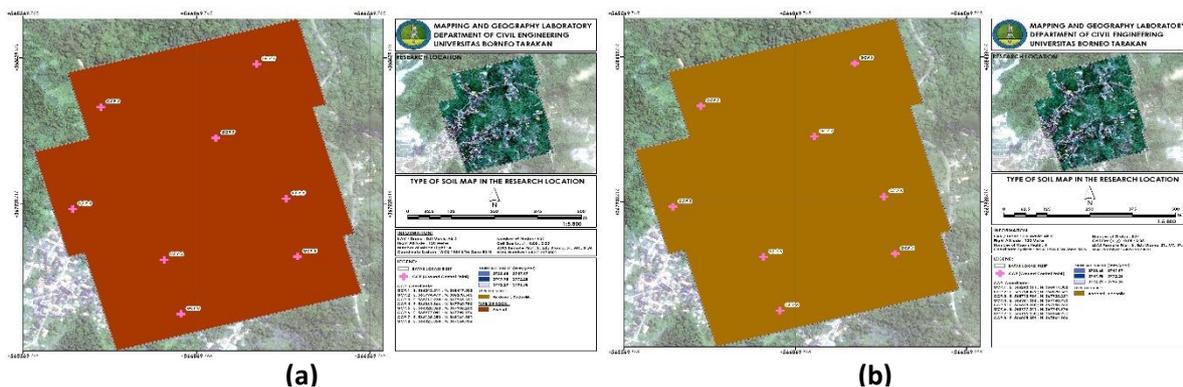
Berdasarkan data curah hujan yang didapatkan melalui laman <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps> , maka diolah visualisasi sebaran hujan di Pulau Tarakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a). Selanjutnya peta tersebut diplotkan pada batas lokasi penelitian, sehingga didapatkan sebaran curah hujan pada lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3 (b).



Gambar 3. (a) Peta sebaran curah hujan di Pulau Tarakan, (b) Peta sebaran curah hujan di Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada perbatasan antara kelurahan Karang Anyar, dan Kelurahan Kampung Satu, berdasarkan ekstraksi sebaran curah hujan yang ditunjukkan pada Gambar 5 (a) dapat dinyatakan bahwa lokasi penelitian mengalami rentang curah hujan antara 3.723 – 3.772 mm/tahun, harga ini merupakan nilai rata-rata maksimum sebaran curah hujan. Sebagai langkah untuk validasi dan perbandingan, digunakan data curah hujan yang diberikan oleh BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) yang diakses melalui laman https://dataonline.bmkg.go.id/akses_data (BMKG, 2023). Hasil dari pengolahan data curah hujan rata-rata maksimum pertahun memberikan harga curah hujan yang terjadi dari tahun 2018 s/d 2022 adalah sebesar 3.518 mm/tahun. Perolehan kedua data mengalami perbedaan yang cukup signifikan, namun kedua sumber data memberikan informasi bahwa curah hujan yang terjadi di Pulau Tarakan berada pada harga > 3.000 mm/tahun. Oleh sebab itu, ditemukan bahwa kondisi parameter klasifikasi faktor curah hujan di lokasi penelitian masuk dalam tingkat klasifikasi sangat basah, dengan kejadian curah hujan > 3.000 mm/tahun.

Sedangkan untuk klasifikasi jenis batuan dalam penelitian ini masih merujuk pada informasi sekunder, yang menyatakan bahwa jenis batuan di daerah perbukitan Pulau Tarakan adalah batuan aluvial dan klasifikasi jenis tanah di daerah perbukitan masuk dalam klasifikasi Andosol Podsolik. Ketiga parameter ini (Curah hujan tahunan, jenis batuan, dan jenis tanah) dalam penelitian ini merupakan variabel tetap yang tidak berubah, karena sumber informasi data bersifat sekunder. Pada Gambar 5.a ditunjukkan peta sebaran jenis batuan, dan Gambar 5.b ditunjukkan peta sebaran jenis tanah pada lokasi penelitian.



Gambar 5. (a) Peta sebaran jenis batuan di lokasi penelitian, (b) Peta sebaran jenis tanah di lokasi penelitian

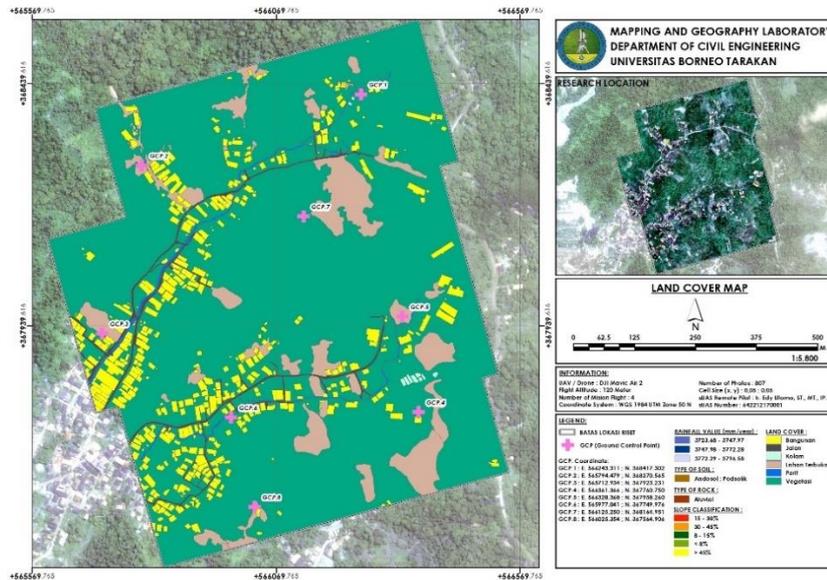
3.4. Hasil Pembentukan Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil pembentukan *orthophoto* dari data foto udara dilakukan pembentukan tutupan lahan di lokasi penelitian. Teknik yang digunakan adalah teknik digitasi *on-screen*, hal ini dilakukan karena untuk penerapan teknik yang lain seperti *Supervised* dan *Un-supervised* tidak optimal karena membutuhkan waktu ekstraksi yang cukup panjang. Hal ini dipengaruhi oleh resolusi *orthophoto* yang dihasilkan sangat tinggi yaitu 5 cm/piksel. Hasil analisis penggunaan lahan ditunjukkan pada Tabel 6 dan pembentukan tutupan lahan ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 6. Hasil analisis tutupan lahan

No	Jenis Klasifikasi	Klasifikasi	Luas (Ha)	(%)
1.	Vegetasi	Semak Belukar	58,28	80,17
2.	Bangunan	Kota / Permukiman	6,42	8,83
3.	Jalan dan Jembatan	Kota / Permukiman	1,20	1,65
4.	Kolam	Tambak, Waduk, Perairan	0,08	0,11
5.	Parit, Sungai	Tambak, Waduk, Perairan	0,45	0,62
6.	Lahan Bukaan	Tegalan, Sawah, Bukaan	6,27	8,62
Total			72,70	100,00

Sumber: Analisis tutupan lahan, Peneliti, 2023.



Gambar 6. Peta tutupan lahan di lokasi penelitian

Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan di lokasi penelitian, menunjukkan bahwa 80,17% lokasi merupakan vegetasi dengan kumpulan semak belukar dan pepohonan sedang yang tersebar pada setiap bagian. 7,62% lahan digunakan sebagai daerah pemukiman masyarakat yang terinterpretasikan sebagai bangunan rumah, jalan dan jembatan. Sedangkan wilayah perairan berupa parit, sungai dan kolam ikan pada lokasi penelitian, mengambil 0,53% dari luas lokasi penelitian. Lahan terbuka yang difungsikan sebagai tegalan tanpa tanaman, kebun masyarakat, tambang pasir, dan terbuka akibat adanya longsor terdahulu mengambil persentase luas lahan sebesar 6,27%. Hal ini menunjukkan adanya potensi pengembangan penggunaan lahan dikemudian hari. Masyarakat akan berupaya melakukan perluasan guna lahan dengan membuka lahan baru yang berupa vegetasi. Hal ini yang perlu untuk dikhawatirkan, apabila lahan vegetasi ditambah, maka potensi longsor akan meningkat, karena kondisi kelеренган lahan yang curam.

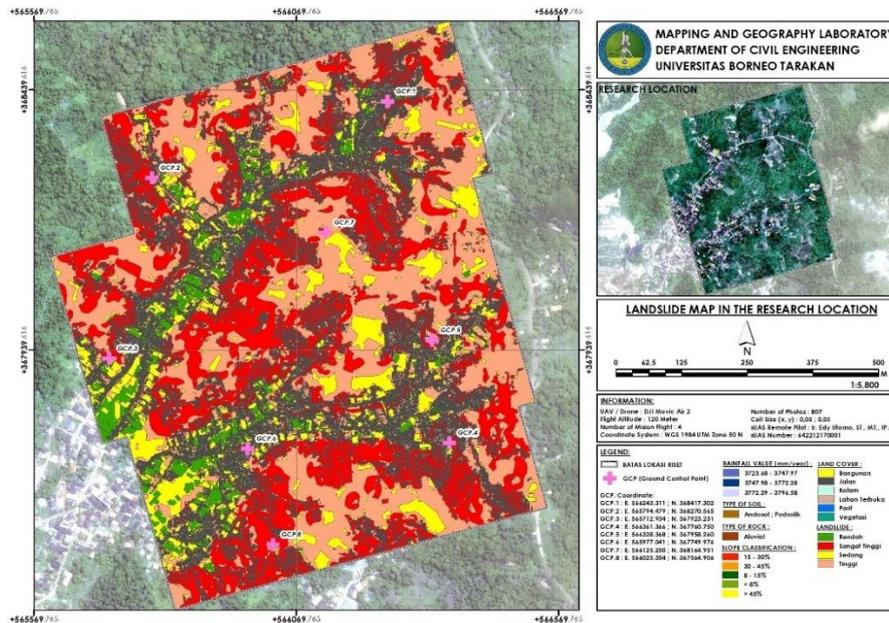
3.5. Hasil Penilaian Rawan Longsor

Penilaian daerah rawan longsor pada lokasi penelitian dihitung dengan perkalian *score* dan bobot yang diberikan pada persamaan 4. Iterasi perhitungan dilakukan secara otomatis pada perangkat lunak *Arc Map 10.8* dengan menerapkan teknik *overlay* dan menghasilkan suatu gambaran peta baru, yaitu peta pembagian lokasi rawan longsor, yang teridentifikasi berdasarkan tingkat kelongsoran yang terjadi. Nilai rentang kelongsoran didapatkan dengan iterasi persamaan 5 dengan menetapkan 4 (empat) tingkat kerawanan, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 7 dan peta kawasan rawan longsor pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 7. Hasil analisis rawan longsor

No	Tingkat Rawan Longsor	Luas (Ha)	(%)
1.	Rendah	3,38	4,65
2.	Sedang	11,21	15,41
3.	Tinggi	31,70	43,61
4.	Sangat Tinggi	26,41	36,33
	Total	72,70	100,00

Sumber: Analisis rawan longsor, Peneliti, 2023.



Gambar 7. Peta kawasan rawan longsor di lokasi penelitian

Lokasi penelitian memiliki potensi kerawanan longsor yang tinggi dan sangat tinggi. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis yang menunjukkan bahwa 31,70% daerahnya berpotensi tinggi, dan 26,41% memiliki potensi sangat tinggi. Daerah-daerah tersebut berada pada bagian lereng-lereng perbukitan. Walaupun tutupan lahan berupa vegetasi masih tumbuh baik di sebagian lokasi tersebut, namun pada kemiringan yang curam dan curah hujan yang meningkat bencana longsor tidak dapat dihindari, terlebih lagi masyarakat yang cenderung melakukan pembukaan lahan untuk kegiatan produksi perkebunan dan permukiman.

Agar memberikan hasil yang baik, maka peta kawasan rawan longsor pada lokasi penelitian divalidasi dengan menggunakan teknik *accrassion assesment*. Teknik ini dilakukan pada hasil peta rawan longsor yang dihasilkan dengan titik uji pengamatan lapangan. Jumlah titik uji yang perlu untuk diamati di lapangan adalah sebanyak 30 titik yang tersebar di lokasi penelitian. Bentuk kriteria yang diamati adalah kemiringan lereng yang terjal, dan bentuk vegetasi yang terdapat pada kemiringan terjal. Adapun hasil dari uji validasi ini ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Uji *accrassion assesment* lokasi titik longsor

No	Easting	Northing	Tingkat Rawan Longsor	Hasil Assesment
1.	565895,81	367826.65	Sangat Tinggi	Sesuai
2.	565896,44	367839.43	Sangat Tinggi	Sesuai
3.	566016,94	367885.76	Sangat Tinggi	Sesuai
4.	565912,71	367892.59	Sangat Tinggi	Sesuai
5.	565909.64	367869.62	Sangat Tinggi	Sesuai
6.	565839.51	367793.53	Sangat Tinggi	Sesuai
7.	566103.02	367857.49	Sangat Tinggi	Sesuai
8.	566157.49	367852.84	Sangat Tinggi	Sesuai
9.	566152.46	367814.47	Tinggi	Sesuai
10.	56622562	367836.87	Tinggi	Sesuai
11.	566220.06	367871.53	Tinggi	Sesuai
12.	566382.98	368006.83	Tinggi	Sesuai

No	Easting	Northing	Tingkat Rawan Longsor	Hasil Assesment
13.	566163.02	367709.83	Sangat Tinggi	Sesuai
14.	566165.46	367755.61	Sangat Tinggi	Sesuai
15.	566144.95	367680.47	Sangat Tinggi	Sesuai
16.	566023.06	367566.17	Sangat Tinggi	Sesuai
17.	566028.17	367561.44	Sangat Tinggi	Sesuai
18.	565933.07	367484.05	Sangat Tinggi	Sesuai
19.	565997.88	367494.50	Sangat Tinggi	Sesuai
20.	566164.16	368164.30	Sangat Tinggi	Sesuai
21.	566181.23	368232.57	Sangat Tinggi	Sesuai
22.	566224.99	368262.25	Tinggi	Tidak Sesuai
23.	565994.23	368382.15	Sangat Tinggi	Sesuai
24.	566002.81	368395.53	Tinggi	Tidak Sesuai
25.	566009.28	368461.75	Sangat Tinggi	Sesuai
26.	566003.57	368470.60	Sangat Tinggi	Sesuai
27.	565782.52	368255.61	Sangat Tinggi	Sesuai
28.	565759.68	368372.38	Sangat Tinggi	Tidak Sesuai
29.	565945.28	368011.80	Sangat Tinggi	Sesuai
30.	565984.97	367986.40	Sangat Tinggi	Sesuai
Jumlah titik sampel pengamatan				30
Jumlah hasil pengamatan yang benar/sesuai				27
<i>Accurassion assesment</i>				90%

Sumber: Uji accurassion assessment lokasi titik longsor, Peneliti, 2023.

Berdasarkan uji akurasi yang dilakukan dengan metode *accurassion assesment* pada lokasi titik-titik longsor didapatkan hasil akurasi peta rawan longsor pada lokasi penelitian adalah sebesar 90%. Oleh sebab itu, peta rawan longsor yang dibentuk berdasarkan pengolahan data foto udara dari UAV dinilai akurat, karena menghasilkan nilai uji akurasi 90% lebih dari 80% seperti yang disyaratkan oleh *National Park Service Inventory* (Rahmadany dkk., 2022).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang dilakukan pada penelitian ini, dapat diketahui bahwa penerapan metode fotogrametri dengan basis data citra udara dari UAV mampu memberikan hasil yang baik terhadap penilaian kawasan rawan longsor. Hal ini dibuktikan dari hasil uji akurasi pada beberapa bagian hasil pemodelan peta rawan longsor, maupun pada ketersediaan *orthophoto* yang dihasilkan dari pengolahan citra UAV. Selain itu, dari penerapan metode fotogrametri ini dapat diketahui bahwa lokasi penelitian merupakan kawasan rawan longsor dengan 2 (dua) tingkatan, yaitu tingkat tinggi dengan persentase 43,61% dan tingkat sangat tinggi 36,33%, yang tersebar pada bagian lereng perbukitan. Oleh sebab itu, pada titik-titik potensi longsor diharapkan untuk tidak dilakukan perubahan alih fungsi lahan, dari sebaran vegetasi menjadi daerah terbuka tanpa adanya penangan khusus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terselesaikannya penelitian ini, ucapan terima kasih diberikan kepada Ketua RT.10 dan RT.20 Kelurahan Kampung 1 Kota Tarakan yang telah memberikan izin dalam proses penelitian, kepada Program Studi Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, atas dukungan selama proses penelitian, dan kepada Tim Laboratorium Pemetaan dan Geografis Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan yang telah melakukan pengukuran berbasis UAV dengan metode fotogrametri yang menjadi data utama dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anurogo, W., Lubis, M. Z., Khoirunnisa, H., Pamungkas, D. S., Hanafi, A., Rizki, F., Surya, G., Dewi, A., Situmorang, L., Timbang, D., Sihombing, P. N., Lukitasari, C. A., & Dewanti, N. A. (2017). A Simple Aerial Photogrammetric Mapping System Overview and Image Acquisition Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *JOURNAL OF APPLIED GEOSPATIAL INFORMATION*, 1(1), 11. <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAGI>
- Badan Pusat Statistik Kota Tarakan. (2022). *Kota Tarakan Dalam Angka 2022* (Vol. 1).
- BMKG. (2023, Januari 25). *Data Online Pusat Database - BMKG*. dataonline.bmkg.go.id.
- Bossler, J., Jensen, J., McMaster, R., & Rizos, C. (2002). *Manual of geospatial science and technology*. Taylor & Francis.
- Chen, Z., Ye, F., Fu, W., Ke, Y., & Hong, H. (2020). The influence of DEM spatial resolution on landslide susceptibility mapping in the Baxie River basin, NW China. *Natural Hazards*, 101(3), 853–877. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03899-9>
- Dachi, M. A. (2022, September 20). *Ciri-ciri tanah aluvial, jenis, dan manfaat*. <https://mediaindonesia.com/humaniora/524002/ciri-ciri-tanah-aluvial-jenis-dan-manfaat>.
- Fariz, T. R., & Rokhayati, N. (2017). Konversi DSM menjadi DTM menggunakan filter berbasis kelerengan untuk pemetaan genangan banjir ROB di Kecamatan Tirto. *Seminar Nasional ke-3 Pengelolaan Pesisir dan DAS*, 386–396.
- Geologinesia. (2020, Maret 7). *Tanah Podsolik: Pengertian, Ciri-ciri, Pemanfaatan dan Persebarannya*. <https://www.geologinesia.com/2020/03/tanah-podsolik.html>.
- Jensen, J. (2007). *Remote sensing of the environment: An earth resource prespective* (2 ed.). Prentice-Hall series in Geographic Information Science.
- Kompas.com. (2023, Januari 23). *Tanah longsor di 4 titik Kota Tarakan, 11 orang tewas*. <https://regional.kompas.com/read/2020/09/28/15113411/tanah-longsor-di-4-titik-kota-tarakan-11-orang-tewas>.
- Kristy, R., Kiki, F., & Hermawan. (2020). Analisis spasial kawasan rawan banjir menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kota Tarakan Kalimantan Utara. *Artikel Sistem Informasi Geografis*, 1–10. <https://lounaunima260990.academia.edu/RKristy>
- Lumasuge, O., & Helmy Israel, E. (2022). Penerapan model data UAV Fotogrametri untuk Sistem Informasi Geografis zona pemanfaatan lahan (Studi kasus: Kampung Bukide Kecamatan Nusa Tabukan). *Jurnal Ilmiah Behongang*, 5(1), 7–12. <https://www.dji.com>
- Melo, G. I., Sela, R. L. E., & Suryono. (2018). Analisis faktor penyebab perubahan luas lahan kritis di Tateli, Kecamatan Mandolang. *Jurnal Spasial*, 5(3), 347–356.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 37 Tahun, (2020).
- Nuryanti, Tanesib, J. L., & Warsito, A. (2018). Pemetaan daerah rawan banjir dengan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kecamatan Kupang Timur Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Fisika, Fisika Sains dan Aplikasinya*, 3(1), 73–79.

- Perkim.id Perumahan dan Kawasan Permukiman. (2022, November 4). *Profil PKP Kota Tarakan*. <https://perkim.id/profil-pkp/profil-kabupaten-kota/profil-perumahan-dan-kawasan-permukiman-kota-tarakan/>.
- Putra, A. S., Maulana, E., Rahmadana, A. D. W., Wulan, T. R., Mahendra, I. W. W. Y., & Putra, M. D. (2016). Uji akurasi foto udara dengan menggunakan data UAV pada kawasan padat permukiman penduduk (Studi kasus: Kawasan Padat Sayidan, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 278–286. <http://sinasinderaja.lapan.go.id>
- Rahmadany, V., Tjahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Penggunaan DTM presisi dari Fotogrametri UAV untuk analisa bencana longsor menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 86–101. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.12908>
- Sari, N. M., & Kushardono, D. (2014). Klasifikasi penutup lahan berbasis obyek pada data foto UAV untuk mendukung penyediaan informasi penginderaan jauh skala rinci. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 11(2), 114–127.
- Selaby, S., Kusratmoko, E., & Rustanto, A. (2021). Landslide Susceptibility in Majalengka Regency, West Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 884(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/884/1/012053>
- University of California. (2023, Januari). *CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations*. <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>.
- Utomo, E., Hidayat, W., & Chandra, Y. (2022). Analisis Kombinasi Metode Pengukuran Terrestrial Dan Fotogramteri Pada Penyusunan Master Plan Sekolah NU Kota Tarakan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 6(3), 215–228. <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.2996>
- Wahyono, E. B., & Suyudi, B. (2017). *Modul Fotogrametri Terapan*. Kementerian Agraria dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional.
- Wulan, T. R., Ambarwulan, W., Putra, A. S., Maulana, E., Maulia, N., Putra, M. D., Wahyuningsih, D. S., Ibrahim, F., & Raharjo, T. (2016). Uji akurasi data UAV (Unmanned Aerial Vehicle) di kawasan Pantai Pelangi, Parangtritis, Kretek, Kabupaten Bantul. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan*, 27, 232–240. <http://www.dji.com/product/phantom-3-pro/info>
- Yassar, M. F., Nurul, M., Nadhifah, N., Sekarsari, N. F., Dewi, R., Buana, R., Fernandez, S. N., & Rahmadhita, K. A. (2020). Penerapan Weighted Overlay Pada Pemetaan Tingkat Probabilitas Zona Rawan Longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.13>